

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERAS AMBIENTALES

TEMA:

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y SALUD DEL SUELO DE LOS RÍOS
ZAMORA Y ZAMORA HUAYCO, SUBCUENCA DEL RÍO ZAMORA, CANTÓN LOJA
– ECUADOR**

AUTORAS:

CRISTINA GABRIELA AGUILAR MORA

ERIKA MARITZA QUILLE CAIZA

TUTOR:

FREDDY VICENTE CUARÁN SARZOSA

Quito, enero del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotras Cristina Gabriela Aguilar Mora con documento de identificación N° 110449945-2 y Erika Maritza Quille Caiza con documento de identificación N° 172499183-9, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del trabajo de titulación intitulado: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y SALUD DEL SUELO DE LOS RÍOS ZAMORA Y ZAMORA HUAYCO, SUBCUENCA DEL RÍO ZAMORA, CANTÓN LOJA – ECUADOR, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERAS AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....
Cristina Gabriela Aguilar Mora

110449945-2

.....
Erika Maritza Quille Caiza

172499183-9

Quito, enero 2021

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y SALUD DEL SUELO DE LOS RÍOS ZAMORA Y ZAMORA HUAYCO, SUBCUENCA DEL RÍO ZAMORA, CANTÓN LOJA – ECUADOR**, realizado por Cristina Gabriela Aguilar Mora y Erika Maritza Quille Caiza, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero 2021



.....

Freddy Vicente Cuarán Sarzosa

100247718-8

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi amada familia, quienes me han guiado y apoyado incondicionalmente en cada momento de mi vida, que a pesar de haber estado lejos de casa, siempre tuve su amor y preocupación, lo cual me dio la fuerza para seguir día a día. Dedico todo mi esfuerzo a ellos, quienes siempre me han motivado a alcanzar mis metas y que sobre todo me han enseñado que el triunfo más grande en la vida es ser feliz.

Cristina.

Erika

Quiero dedicar este trabajo principalmente a Dios por ser mi guía y fuerza en mi vida.

A mis queridos padres, a mi madre Melida, gracias madre mía por darme algo que jamás nadie me podrá dar que es la vida por ser mi fortaleza, apoyo y guía, por estar siempre pendiente y ayudarme a nunca rendirme, a mi padre Carlos por su amor, sacrificio y trabajo en todos estos años por ser un ejemplo a seguir por inculcarme todos los valores y sobre todo por enseñarme a ser humilde y agradecida en la vida, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí, y convertirme en una profesional, doy gracias a Dios por haberme dado unos padres como ustedes, me siento orgullosa de ser su hija.

A mis hermanos Marjorie y Brandon, por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral que me han brindado en estos años.

A mi sobrino Yandry por ser el niño que me robo el corazón desde que nació, anhelo tanto poder llegar a ver todos tus triunfos gordito mío.

A mi tía Ana por ser mi segunda madre, por ser mi consejera de vida, por ayudarme en todo y verme como su hija, por demostrarme que, el cariño hacia mi sigue presente en usted.

A mi novio Jonathan por acompañarme en este transcurso, por su amor, consejos, y paciencia, por entenderme en todo, por ser siempre un apoyo incondicional en mi vida y sobre todo por querer siempre lo mejor para mi porvenir.

A mis amig@s y futuros colegas que me ayudaron de una u otra manera desinteresada, quizá no fue fácil todo nuestro camino académico pero un día nos prometimos a nosotros mismo lograrlo y lo cumplimos este logro es de nosotros porque solo nosotros sabemos cuán difíciles fue llegar hasta aquí, sin duda han sido los mejores años junto a ustedes.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a mis padres Carlos y Gabriela, quienes desde un inicio me ayudaron a fijar mi curso y es por ellos que he podido culminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

Agradezco también a mi docente tutor MSc. Freddy Cuarán y a la MSc. Diana García, por orientar con paciencia cada paso de este trabajo.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que desinteresadamente colaboraron de la mejor manera en este proyecto.

Cristina.

A Dios por darme a mi familia, por llenar mi familia de dicha, fuerza y bendiciones para alcanzar mis metas.

A mi compañera de trabajo Cris por su paciencia y apoyo en la dura tarea del desarrollo de este trabajo experimental.

A mi docente tutor el MSc. Freddy Cuarán por su apoyo incondicional y ser una guía con sus conocimientos en el desarrollo de este trabajo experimental y poder culminar satisfactoriamente.

A la Universidad Politécnica Salesiana especialmente a la Carrera de Ingeniería Ambiental, a mis Ingenieros quienes con sus conocimientos hicieron que crezca día a día como profesional.

Erika.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo General	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3. MARCO TEÓRICO	5
3.1 Definición de Suelo	5
3.2 Composición del Suelo	5
3.3 Salud y Calidad del Suelo	6
3.4 Indicadores de Calidad y Salud del Suelo	6
3.4.1 Indicadores Físicos	6
3.4.1.1 Textura	7
3.4.1.1.1 Arena	7
3.4.1.1.2 Limo	7
3.4.1.1.3 Arcilla	7
3.4.1.2 Estructura	8
3.4.1.2.1 Bloque	8
3.4.1.2.2 Granular	8
3.4.1.2.3 Laminar	8
3.4.1.3 Estabilidad de Agregados	8
3.4.1.3.1 Microagregados	8
3.4.1.3.2 Macroagregados	8
3.4.1.4 Desleimientos	9
3.4.1.5 Infiltración	9
3.4.1.6 Porosidad	9
3.4.1.6.1 Macroporos	10
3.4.1.6.2 Microporos	10
3.4.1.7 Resistencia a la Penetración	10
3.4.1.8 Densidad Real	10
3.4.1.9 Densidad Aparente	10
3.4.1.10 Profundidad del Horizonte Superior	11
3.4.1.11 Crecimiento de las Raíces	11
3.4.1.11.1 Raíz Pivotante o Típica	11
3.4.1.11.2 Raíz Fasciculada	11
3.4.2 Indicadores Químicos	11

3.4.2.1	pH del Suelo.	12
3.4.2.2	Conductividad Eléctrica.	12
3.4.2.3	Materia Orgánica.	13
3.4.2.4	Nitratos..	13
3.4.3	Indicadores Biológicos	13
3.4.3.1	Respiración del Suelo.	14
3.4.3.2	Bioindicadores: Lombriz de tierra (<i>Lumbricus</i>)..	14
3.4.3.2.1	Lombriz Epígea.	15
3.4.3.2.2	Lombriz Endógea.	15
3.4.3.2.3	Lombriz Anécica.	15
3.5	Principales Coberturas de Uso de Suelo.	15
3.5.1	Agrícola	15
3.5.2	Pastizales.	15
3.5.3	Urbana.	15
3.5.4	Industrial	16
3.5.5	Silvestre	16
3.6	Tipos de Degradación del Suelo.	16
3.6.1	Erosión	16
3.6.2	Compactación del Suelo	16
3.6.3	Agotamiento de Nutrientes	16
3.6.4	Acidificación del Suelo.	17
3.6.5	Degradación Biológica	17
3.7	Principales Causas de Degradación de los Suelos.	17
3.7.1	Agricultura Intensiva	17
3.7.2	Sobrepastoreo.	17
3.7.3	Deforestación	17
3.7.4	Expansión de la Población.	18
3.7.5	Cambio Climático	18
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	19
4.1	Materiales	19
4.1.1	Materiales para Ensayos Físicos	19
4.1.2	Materiales para Ensayos Químicos.	19
4.1.3	Materiales para Ensayos Biológicos	20
4.2	Métodos	20

4.2.1	Diseño Experimental.....	21
4.2.1.1	Tipo de Diseño Experimental.....	21
4.2.1.2	Tratamientos.	23
4.2.1.3	Repeticiones.	24
4.2.1.4	Unidad Experimental.....	24
4.2.1.5	Croquis del Experimento.....	24
4.2.2	Variables	26
4.2.2.1	Variables Cuantitativas.....	26
4.2.2.2	Variables Cualitativas.....	26
4.2.3	Prueba de Significancia	27
4.2.4	Manejo Especifico del Experimento.....	27
4.2.4.1	Determinación de Puntos de Muestreo.....	27
4.2.4.2	Preparación del Área de Muestreo.	28
4.2.4.3	Delimitación de las Unidades Experimentales.....	28
4.2.4.4	Análisis de Parámetros Físicos.....	29
4.2.4.4.1	Ensayo de Infiltración	29
4.2.4.4.2	Ensayo de Densidad Aparente	30
4.2.4.4.3	Ensayo de Desleimientos	32
4.2.4.4.4	Observaciones y Estimaciones Físicas del Suelo.....	34
4.2.4.5	Análisis de Parámetros Químicos.....	38
4.2.4.5.1	Ensayo de Conductividad Eléctrica.	38
4.2.4.5.2	Ensayo de pH	39
4.2.4.5.3	Ensayo de Nitratos	40
4.2.4.5.4	Ensayos de Calidad de Agua.....	41
4.2.4.6	Análisis de Parámetros Biológicos.....	43
4.2.4.6.1	Ensayo de Respiración del Suelo.....	43
4.2.4.6.2	Ensayo de Bioindicadores (Lombrices de Tierra).....	45
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
5.1	Densidad Poblacional de Lombrices de Tierra (<i>Lumbricus</i>)	47
5.2	Respiración del Suelo (kg CO ₂ - C/Ha/día).....	52
5.3	Densidad Aparente (g/cm ³), Textura y Estructura del Suelo.....	56
5.4	Infiltración (cm/h) y Porosidad (%).....	61
5.5	Nitratos en el Suelo (Kg NO ₃ -N /Ha).....	67
5.6	pH del Suelo	70

5.7	Conductividad Eléctrica del Suelo (ds/m)	73
5.8	Análisis de Calidad del Agua	76
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
6.1	Conclusiones.....	78
6.2	Recomendaciones	80
7.	BIBLIOGRAFÍA	81
8.	ANEXOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clases de desleimiento	9
Tabla 2 Relación de la textura con la densidad aparente	11
Tabla 3 Conductividad eléctrica y clase de salinidad.....	12
Tabla 4 Clasificación de la materia orgánica para suelos agrícolas	13
Tabla 5 Índices generales para clases de respiración del suelo	14
Tabla 6 Materiales para ensayos físicos	19
Tabla 7 Materiales para ensayos químicos.....	20
Tabla 8 Materiales para ensayos biológicos.....	20
Tabla 9 Tratamientos.....	23
Tabla 10 Descripción de Tratamientos.....	23
Tabla 11 Criterios para asignación de clases de estabilidad	33
Tabla 12 Tipo, tamaño y grado de las unidades estructurales del suelo	36
Tabla 13 Cuadro de separación de medias de la variable densidad poblacional de lombrices de tierra con respecto a la altitud	47
Tabla 14 Cuadro de separación de medias de la variable densidad poblacional de lombrices de tierra con respecto a la cobertura.....	47
Tabla 15 Cuadro de separación de medias de la variable respiración del suelo con respecto a la altitud.....	52
Tabla 16 Cuadro de separación de medias de la variable respiración del suelo con respecto a la cobertura.....	52
Tabla 17 Texturas del suelo en diferentes localidades del cantón Loja	61
Tabla 18 Clases texturales del suelo obtenidas in situ y en laboratorio	61
Tabla 19 Cuadro de separación de medias de la variable infiltración del suelo con respecto a la cobertura.....	62
Tabla 20 Cuadro de separación de medias de la variable infiltración del suelo con respecto a la cobertura.....	62
Tabla 21 Cuadro de separación de medias de la variable nitratos en el suelo con respecto a la altitud.....	68
Tabla 22 Cuadro de separación de medias de la variable nitratos en el suelo con respecto a la cobertura.....	68
Tabla 23 Cuadro de separación de medias de la variable pH del suelo con respecto a la altitud	70
Tabla 24 Cuadro de separación de medias de la variable pH del suelo con respecto a la cobertura	70
Tabla 25 pH del suelo en diferentes localidades del cantón Loja	72
Tabla 26 Cuadro de separación de medias de la variable CE del suelo con respecto a la altitud	73
Tabla 27 Cuadro de separación de medias de la variable CE del suelo con respecto a la cobertura	74
Tabla 28 Conductividad del suelo en diferentes localidades del cantón Loja.....	75
Tabla 29 Parámetro medidos en agua del río adyacente a los puntos de muestreo: conductividad eléctrica, nitratos y nitritos	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de la unidad hidrográfica nivel 4 Cuenca Río Zamora (4998)	3
Figura 2	Cobertura pastizal	21
Figura 3	Cobertura con influencia urbana	21
Figura 4	Cobertura de cultivo	22
Figura 5	Cobertura silvestre	22
Figura 6	Perfil topográfico río Zamora y Zamora Huayco	22
Figura 7	Mapa de puntos de muestreo en los Ríos Zamora y Zamora Huayco.	24
Figura 8	Mapa de las coberturas de suelo	25
Figura 9	Determinación de puntos de muestreo	28
Figura 10	Toma de punto de muestreo con GPS	28
Figura 11	Preparación del área de muestreo	28
Figura 12	Unidades experimentales excavadas	28
Figura 13	Delimitación de unidades experimentales	29
Figura 14	Unidades experimentales delimitadas	29
Figura 15	Ensayo de infiltración	30
Figura 16	Toma de tiempo con cronómetro	30
Figura 17	Colocación del anillo de 3 pulgadas	32
Figura 18	Secado de las submuestras	32
Figura 19	Recolección de fragmentos de suelo	33
Figura 20	Análisis de los fragmentos	33
Figura 21	Medición del pozo cavado	34
Figura 22	Medición del horizonte superficial	34
Figura 23	Raíz pivotante de árbol de naranja	35
Figura 24	Raíz pivotante de árbol de limón	35
Figura 25	Determinación de la resistencia	35
Figura 26	Observación de la estructura del suelo	37
Figura 27	Reconocimiento de unidades estructurales del suelo	37
Figura 28	Determinación de la clase textural	37
Figura 29	Procedimiento textural por tacto	37
Figura 30	Toma de la submuestra para medición de CE	39
Figura 31	Resultado de medición de CE del suelo	39
Figura 32	Medición de pH del suelo	39
Figura 33	Resultado de medición del pH en el suelo	39
Figura 34	Recipientes con papel filtro	41
Figura 35	Uso del cuentagotas	41
Figura 36	Muestreo de agua	42
Figura 37	Medición de nitratos del agua	42
Figura 38	Medición de CE del agua	43
Figura 39	Resultado de medición de CE del agua	43
Figura 40	Cámara de respiración	45
Figura 41	Medición de la respiración del suelo	45
Figura 42	Excavación de unidades experimentales	46
Figura 43	Conteo de lombrices	46

Figura 44	Lombrices encontradas en punto muestreado	46
Figura 45	Conteo de lombrices	46
Figura 46	Interacción de la variable densidad poblacional de lombrices de tierra entre altitud y cobertura.....	48
Figura 47	Profundidad del horizonte superior del suelo en cada altitud.....	49
Figura 48	Lombrices epígeas	50
Figura 49	Lombrices endógeas	50
Figura 50	Lombrices anécicas.....	51
Figura 51	Interacción de la variable respiración del suelo entre los factores en estudio altitud y cobertura.....	53
Figura 52	Relación entre la densidad poblacional de lombrices anécicas y la respiración del suelo	54
Figura 53	Relación entre la densidad poblacional de lombrices epígeas y la respiración del suelo	54
Figura 54	Relación entre la densidad poblacional de lombrices endógeas y la respiración del suelo	54
Figura 55	Relación entre materia orgánica y respiración del suelo	56
Figura 56	Interacción de la variable densidad del suelo entre los factores en estudio altitud y cobertura.....	57
Figura 57	Textura del suelo en las diferentes altitudes	57
Figura 58	Textura del suelo en las coberturas.....	57
Figura 59	Contenido de materia orgánica (%) en el suelo	58
Figura 60	Estructura del suelo en las diferentes altitudes	59
Figura 61	Estructura del suelo en distintas coberturas.....	59
Figura 62	Desleimiento del suelo en las diferentes coberturas analizadas	60
Figura 63	Interacción de la variable infiltración entre los factores en estudio altitud y cobertura	62
Figura 64	Contenido de agua en el suelo (g/g) en las diferentes altitudes.....	63
Figura 65	Contenido de agua en el suelo (g/g) en las diferentes coberturas.....	64
Figura 66	Tipo de raíces predominantes en coberturas del suelo	65
Figura 67	Porosidad del suelo en las coberturas de los diferentes puntos de muestreo.....	66
Figura 68	Presencia de suelos compactados en cada una de las coberturas de estudio	67
Figura 69	Interacción de la variable nitratos en el suelo entre los factores en estudio altitud y cobertura.....	68
Figura 70	Correlación de datos de nitratos (ppm) en el suelo.....	70
Figura 71	Interacción de la variable pH del suelo entre los factores en estudio altitud y cobertura	71
Figura 72	Correlación entre de los datos de pH del suelo.....	73
Figura 73	Interacción de la variable CE del suelo entre los factores en estudio altitud y cobertura	74
Figura 74	Correlación entre de los datos de conductividad del suelo.....	76
Figura 75	Análisis químico de la calidad de agua: conductividad, nitratos y nitritos	77

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Ensayo infiltración: Conversión de tiempo de infiltración (cm/hr).....	30
Ecuación 2 Ensayo densidad aparente: Peso seco de la submuestra de suelo (g)	31
Ecuación 3 Ensayo densidad aparente: Contenido de agua del suelo (g/g)	31
Ecuación 4 Ensayo densidad aparente: Densidad aparente del suelo (g/g).....	31
Ecuación 5 Ensayo densidad aparente: Porosidad del suelo (%)	31
Ecuación 6 Ensayo desleimiento: Evaluación promedio de desleimiento de suelos.....	33
Ecuación 7 Ensayo de estructura del suelo: índice de estructura	36
Ecuación 8 Ensayo de nitratos: Volumen (m^3) de suelo en 1 Ha.....	40
Ecuación 9 Ensayo de nitratos: Masa de la capa de suelo (kg).....	40
Ecuación 10 Ensayo de nitratos: N(en NO_3^-)(mg NO_3^- – N/Ha)	40
Ecuación 11 Ensayo de nitratos: N(en NO_3^-)(kg NO_3^- – N/Ha).....	40
Ecuación 12 Ensayo de respiración del suelo: Índice de respiración del suelo (kg CO_2 – C/Ha/día)	44
Ecuación 13 Ensayo de respiración del suelo: Índice estandarizado de respiración del suelo (kg CO_2 -C/Ha/día).....	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Codificación Pfafstetter de la unidad hidrográfica 49989	87
Anexo 2	Tabla de descripción y ubicación geográfica de puntos de muestreo	87
Anexo 3	Informe de resultados del laboratorio hoja 1	88
Anexo 4	Informe de resultados del laboratorio hoja 2	89
Anexo 5	Cuadro de análisis de la varianza de la variable densidad poblacional de lombrices de tierra (transformación Ln).....	90
Anexo 6	Cuadro de análisis de la varianza de la variable respiración (transformación Ln) del suelo	90
Anexo 7	Cuadro de análisis de la varianza de la variable infiltración (transformación Ln) del suelo	90
Anexo 8	Cuadro de análisis de la varianza de la variable nitratos en el suelo	90
Anexo 9	Cuadro de análisis de la varianza de la variable pH del suelo	91
Anexo 10	Cuadro de análisis de la varianza de la variable conductividad (transformación Ln) del suelo .	91
Anexo 11	Cuadro de análisis de la varianza de la variable densidad aparente del suelo	91
Anexo 12	Cuadro de análisis de la varianza de la variable conductividad del agua	91
Anexo 13	Cuadro de análisis de la varianza de la variable nitratos del agua.....	92
Anexo 14	Cuadro de análisis de la varianza de la variable nitritos del agua	92
Anexo 15	Ficha de descripción del punto de muestreo.....	92
Anexo 16	Ficha del ensayo de respiración del suelo	93
Anexo 17	Ficha del ensayo de infiltración.....	95
Anexo 18	Ficha del ensayo de densidad aparente.....	96
Anexo 19	Ficha del ensayo de desleimiento	97
Anexo 20	Ficha del ensayo de profundidad del horizonte, raíces, compactación, textura y estructura del suelo	98
Anexo 21	Tabla de las clases para índices de Estructura	99
Anexo 22	Ficha del ensayo de conductividad eléctrica y pH del suelo	100
Anexo 23	Ficha del ensayo de nitratos del suelo	101
Anexo 24	Ficha de ensayo de lombrices.....	102
Anexo 25	Ficha para el ensayo de medición de calidad de agua	103
Anexo 26	Fotografía de la delimitación de la unidad de análisis y sus repeticiones	104
Anexo 27	Fotografía del ensayo de respiración del suelo.....	104
Anexo 28	Fotografía de los tubos draeger	104
Anexo 29	Fotografía del ensayo de densidad aparente	104
Anexo 30	Fotografía del ensayo de infiltración	105
Anexo 31	Fotografía del ensayo de desleimiento	105
Anexo 32	Fotografía del ensayo de textura del suelo	105
Anexo 33	Fotografía del ensayo de profundidad del horizonte	105
Anexo 34	Fotografía de las unidades experimentales cavadas	106
Anexo 35	Fotografía de las lombrices encontradas	106
Anexo 36	Fotografía del ensayo de medición de conductividad eléctrica	106
Anexo 37	Fotografía del ensayo de medición de pH	106
Anexo 38	Fotografía del ensayo de nitratos.....	107
Anexo 39	Fotografía de los materiales usados en el laboratorio.....	107

RESUMEN

El suelo es un recurso indispensable para el sostenimiento del ambiente y por ende de la humanidad, no obstante, su degradación está provocando que sus condiciones lleguen a un límite crítico. Es por ello que, se ha vuelto indispensable implementar métodos, que permitan hacer una deducción de las características generales del suelo.

Por consiguiente, en la presente investigación se han identificado ensayos de campo válidos, que permiten de forma práctica analizar la calidad y salud del suelo mediante el análisis de factores físicos, químicos y biológicos, obteniendo resultados inmediatos, que permiten un monitoreo constante, pudiendo así identificar problemas y gestionar actividades para su uso sostenible.

Se ha tomado como base la guía de calidad y salud de suelo del departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA), en donde se obtuvo los procedimientos para medir los diferentes parámetros, así como tablas estandarizadas permitiendo interpretar los datos obtenidos en la investigación.

El estudio se llevó a cabo sobre las principales coberturas de suelo (con influencia urbana, cultivo, pastizal y silvestre) en las riveras de los ríos Zamora y Zamora Huayco del cantón Loja-Ecuador. El objetivo de la investigación fue determinar la calidad y salud del suelo, mediante ensayos *in situ* y establecer una relación de los diferentes usos de suelo con respecto a la presencia de lombrices de tierra, para evaluar su capacidad como bioindicadores.

Para el análisis estadístico de las variables cuantitativas se utilizó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) en arreglo factorial 4 x 4, los factores en estudio analizados fueron cobertura y altitud. Para las variables cualitativas se aplicó estadística descriptiva.

Se obtuvo como resultado que la salud y calidad del suelo de estudio se encontraba próxima o dentro de los rangos establecidos como ideales. Se pudo definir también que el estado del suelo está condicionado al manejo y uso dado a cada cobertura, así la cobertura de cultivo presentó condiciones menos ideales con respecto a las demás. Se identificó también una relación positiva moderada entre la densidad poblacional de las lombrices de tierra y las coberturas del suelo, pudiendo así afirmar su capacidad como bioindicador.

Palabras claves: Indicadores de salud del suelo, calidad del suelo, ensayos in situ, lombriz de tierra, parámetros físicos del suelo, parámetros químicos del suelo

SUMMARY

The soil is an essential resource for the environment sustainability and thus for humanity, however, its degradation is causing that it reaches critical limits. Currently, it has become essential the implementation of methods, which allow making a deduction of the general characteristics of the soil.

Therefore, in the present investigation, valid, viable field tests have been identified, that allow in a practical way to analyze the quality and health of the soil through the analysis of physical, chemical and biological factors, in this way immediate results can be obtained that allow a constant monitoring of soils, thus allowing problems to be identified and manage activities for their sustainable use.

The soil quality and health guide of the United States Department of Agriculture, USDA has been taken as a basis, where the procedures to measure the different physical, chemical and biological parameters were obtained, as well as standardized tables that allow interpreting the data obtained in the investigation.

The study was carried out on different soil covers (soil cover with urban influence, crop, grassland and wild vegetation) along the banks of the Zamora and Zamora Huayco rivers from Loja-Ecuador. The aim of the research was to determine the quality and health of the soil, through *in situ* tests and establish a relationship with the different soil uses regarding to the presence of earthworms, to evaluate their capacity as bioindicators.

For the statistical analysis of the quantitative variables, the Randomized Complete Block Design (RCBD) was used in a 4 x4 factorial arrangement, where the factors in the study analyzed were soil cover and altitude. Descriptive statistics were applied for the qualitative variables.

It was obtained as a result that the health and quality of the study soil were close to or within the ranges established as ideal. It also be defined that the soil condition is conditioned to the management and the use given to each soil cover, thus, the crop cover presented fewer ideal conditions regarding to the others. A moderate positive relationship was also identified in relation to the population density of earthworms and soil covers, thus being able to affirm its capacity as a bioindicator.

Key words: soil health indicators, soil quality, *in situ* tests, earthworm, soil physical parameters, soil chemical parameters

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema complejo de interacciones de factores bióticos y abióticos, actualmente las presiones humanas sobre la naturaleza están causando la alteración de estos factores y provocando que las condiciones del suelo lleguen a límites críticos (Nortcliff et al., 2012). La evolución del suelo suele ser constante, sin embargo, se requiere miles de años para la formación de este recurso, considerándose, así como un recurso natural no renovable; por ello es necesario darles a los suelos la importancia que requieren, ya que de este recurso se derivan los servicios ambientales que son indispensables para la sostenibilidad del medio ambiente y de la vida humana (Cotler et al., 2007).

En Ecuador, se estima que el 47,9% de su superficie pertenece a suelos vulnerables a la erosión, de los cuales en la región interandina se encuentran gran parte de ellos, principalmente en los valles secos interandinos existentes en la provincia de Pichincha, Loja, Imbabura y Carchi (Fontaine et al., 2008). La calidad y salud de estos suelos es más propensa a ser modificada a causa de la actividad humana, disminuyendo así, la capacidad actual y futura para sostener la vida, esta alteración suele afectar al suelo en un corto plazo (Bautista, 2004).

Dada la problemática descrita, se torna indispensable alcanzar una gestión sostenible de los suelos, mediante la implementación de métodos prácticos que permitan hacer una deducción aproximada de las características generales del suelo y de este modo definir la gestión final de uso sostenible de este recurso natural (López R. , 2002).

La presente investigación pretende implementar ensayos de campo válidos, fáciles y viables que permitan de forma práctica analizar la calidad y salud del suelo mediante la evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos, con la finalidad de obtener resultados inmediatos que permitan comparar diferentes sistemas de manejo, monitorear la calidad del suelo constantemente

en diferentes períodos de tiempo e identificar posibles problemas que pueda presentar este recurso (USDA, 1999).

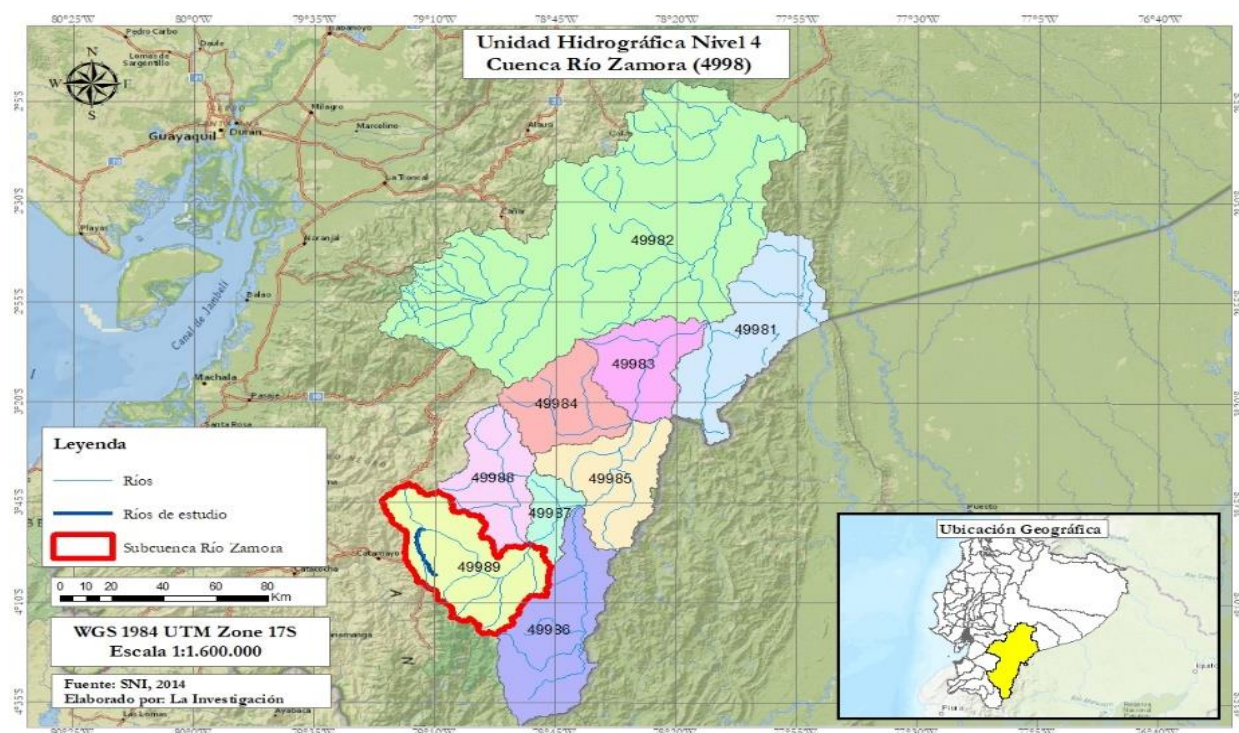
Las herramientas para el diagnóstico de la calidad del suelo se enfocan en la evaluación de los componentes del suelo, específicamente de la materia orgánica, mediante el análisis de la respiración del suelo y concentración de nitratos. El diagnóstico de la salud del suelo se enfoca en la relación de las características físicas y químicas del suelo con la presencia de lombrices de tierra, que permite evaluar la función de estos macro invertebrados como bioindicadores.

La aplicación de estos métodos de diagnóstico ha sido avalada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1999), quienes tras años de investigación y varios ensayos han desarrollado, validado y aprobado varias técnicas de campo que permiten llevar a cabo una serie de chequeos *in situ* de las condiciones del suelo.

En base a las técnicas descritas, la presente investigación ha planteado estudiar las condiciones de calidad y salud del suelo a lo largo del río Zamora y Zamora Huayco del cantón Loja, en cuyas zonas aledañas existe actividad ganadera, agrícola y con influencia urbana (zonas de descargas de aguas servidas). Al dar un seguimiento a las condiciones de este recurso, se busca determinar estadísticamente la relación existente entre las diferentes coberturas de suelo *versus* las características físicas, químicas y biológicas.

Los ríos de estudio se encuentran ubicados en la unidad hidrográfica 49989, tal como se muestra en la Figura 1, subcuenca perteneciente a la cuenca del río Zamora, como se aprecia en el Anexo 1. Esta subcuenca nace en el nudo de Cajanuma a través del río Malacatos y el río Zamora Huayco. Estos ríos se unen en el norte de la ciudad de Loja, dando origen al río Zamora (Municipio de Loja, 2014).

Figura 1
 Mapa de la unidad hidrográfica nivel 4 Cuenca Río Zamora (4998)



Nota. El mapa indica la ubicación de la Cuenca del Río Zamora, se ha delimitado con rojo la subcuenca de estudio (49989), en donde se localizan los ríos de estudio Zamora y Zamora Huayco. Fuente: La investigación.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Evaluar la calidad y salud del suelo de los ríos Zamora y Zamora Huayco, subcuenca del río Zamora, cantón Loja-Ecuador.

2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la relación entre la presencia de la lombriz de tierra (*Lumbricus*) como bioindicador de la calidad y salud del suelo.
- Valorar la relación entre la presencia de la lombriz de tierra (*Lumbricus*) y las diferentes características físicas y químicas del suelo.
- Determinar la relación entre las coberturas del suelo con la calidad de suelo.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Definición de Suelo

El suelo es un sistema dinámico y complejo, en el cual ocurre una constante transformación de materia mineral y orgánica, gracias a la interacción entre factores biológicos, químicos y físicos (Nortcliff et al., 2012), dando como resultado una capa de materia fértil, la cual se encuentra cubriendo la superficie de la tierra y se localiza en el límite de la atmósfera y la zona continental de la capa terrestre (Banegas, 2014).

Esta interacción y transformación puede darse a corto plazo a causa de eventos individuales como lluvias intensas, sin embargo, generalmente se desarrolla a largo plazo, llegando a tomar miles de años, por ello, a escala de tiempo humana, es un recurso no renovable (Nortcliff et al., 2012).

El suelo es el responsable de varias funciones que sustentan la vida tales como: producción de biomasa, reactor de filtración, regulación y transformación de la materia. Estas funciones tienen como objetivo proteger al entorno de la contaminación del ambiente, aguas subterráneas y la cadena alimenticia; además, es el hábitat biológico y reserva energética de plantas y animales (Bravo, 2015); el encargado de regular la distribución del agua y solutos como nitrógeno, fósforo, pesticidas y otros nutrientes (Banegas, 2014).

3.2 Composición del Suelo

Todos los suelos están constituidos por tres componentes principales: materia orgánica, agua y aire (Baxter y Williamson, 2001).

La materia orgánica es producto de la descomposición de restos vegetales y animales que se generan después de un proceso, se depositan sobre el suelo, y cuando existe una descomposición

avanzada de materia orgánica se convierte en humus, almacenando muchos nutrientes y mejorando la estructura del suelo (Izquierdo y Venegas, 2011).

El agua es un elemento fundamental para la vida ya que es un medio de transporte para las sustancias nutritivas, permitiendo que realicen sus procesos de crecimiento y desarrollo (Zambrano, 2014).

El aire es también un elemento fundamental para la respiración de los seres vivos cuyo hábitat es el suelo, este elemento presenta la misma composición gaseosa que la atmósfera, pero en diferentes proporciones, entre los principales componentes se encuentran el nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua (Konijnenburg, 2006)

3.3 Salud y Calidad del Suelo

La salud del suelo se define como la habilidad de este recurso para funcionar y rendir de acuerdo a su potencial, es decir, mantener su autorregulación, estabilidad y resiliencia, tomando en cuenta los cambios a causa de la acción antrópica y eventos naturales (Banegas, 2014).

Aunque salud y calidad de suelo suelen considerarse como conceptos equivalentes, no son precisamente sinónimos, puesto que, a diferencia de salud, la calidad de suelo se define como el conjunto de características ideales que debe poseer este recurso para un fin específico, por ende se consideran sus propiedades dinámicas como contenido de materia orgánica y actividad microbiana en un tiempo determinado (Bautista et al., 2004).

3.4 Indicadores de Calidad y Salud del Suelo

3.4.1 Indicadores Físicos

Las propiedades físicas del suelo juegan un papel importante en la determinación de la salud del suelo (Bhattacharyya y Pal, 2015), debido a que son las encargadas de dar al suelo diferentes

capacidades como: permitir el movimiento de aire y agua través de los horizontes del suelo, almacenar agua para el crecimiento de las plantas, ser el soporte de animales, plantas, infraestructura y seres humanos (Baxter y Williamson, 2001).

3.4.1.1 Textura. De acuerdo a la USDA (1999) “*es un indicador que permite determinar la velocidad de consumo de agua, almacenaje de agua, laborabilidad y amplitud de aireación*”. Se define como el porcentaje relativo de separaciones del suelo o partículas primarias, conformando la fase sólida del suelo mineral y han sido clasificadas en tres grupos de acuerdo a su diámetro: arena, limo y arcilla (Phogat et al., 2015).

3.4.1.1.1 Arena. Partículas visibles al ojo humano, llegando a alcanzar diámetros de 0.05 mm a 2 mm (Konijnenburg, 2006). Presentan una alta permeabilidad, sin embargo, retienen muy poca agua y nutrientes (Porta et al., 2013).

3.4.1.1.2 Limo. Partículas no visibles al ojo humano (Baxter y Williamson, 2001), su diámetro oscila entre 0.002 mm a 0.05 mm (Fernández P. , 2017). La capacidad de retención de agua y nutrientes del limo es mejor que la de la arena, de igual forma presenta una mejor capacidad de drenaje, aireación y labranza (Phogat et al., 2015).

3.4.1.1.3 Arcilla. Partículas no visibles al ojo humano (Konijnenburg, 2006), su diámetro suele ser menor a 0.002 mm (Porta et al., 2013). Este tipo de partículas presentan baja permeabilidad, y, por lo tanto, tienen una buena capacidad de retención de agua y nutrientes (Fernández P. , 2017)

3.4.1.2 Estructura. La estructura del suelo está definida por la disposición de partículas de arena, limo y arcilla en patrones definidos que forman agregados llamados “*peds*”. La estructura suele estar influenciada por factores como la humedad del aire, materia orgánica, microorganismo y crecimiento de raíces (Balasubramanian, 2017). Es un indicador del movimiento libre de agua y aire, por lo tanto, mientras mayor sea el índice de la estructura del suelo, mejor será la calidad de este recurso (USDA, 1999).

3.4.1.2.1 Bloque. Presentan superficies planas o ligeramente redondeadas con una subdivisión en angular (FAO, 2006).

3.4.1.2.2 Granular. Presentan superficies irregulares, por ello no calzan ordenadamente con los agregados circundantes (FAO, 2006).

3.4.1.2.3 Laminar. Presenta dimensiones verticales, se encuentran orientados en un plano horizontal y superpuesto (FAO, 2006).

3.4.1.3 Estabilidad de Agregados. La cantidad de agregados es un indicador de la resistencia del suelo a la perturbación del agua fluyente, es así que, la calidad del suelo es mejor cuando el porcentaje de agregados estables es mayor, debido a que estos protegen la materia orgánica de la exposición al aire y de la descomposición microbiana, disminuyen la erosibilidad del suelo y mejoran el movimiento del agua y del aire (USDA, 1999).

3.4.1.3.1 Microagregados. Los microagregados miden menos de 250 micras, se unen a partículas de limo, arena fina e incluso a la materia orgánica formando los macroagregados (Pulido, 2008).

3.4.1.3.2 Macroagregados. Los macroagregados miden más de 250 micras y son considerados como un mejor indicador de la de la calidad del suelo, debido a que son más sensibles a los cambios en el manejo del suelo (Pulido, 2008).

3.4.1.4 Desleimientos. El desleimiento es una técnica de fragmentación que ocurre cuando los agregados son rápidamente sumergidos en agua, este indicador está relacionado generalmente con la estructura del suelo, factores como la velocidad de humectación, contenido de agua, textura, contenido de materia orgánica, afectan también a la estructura del suelo (USDA, 1999). El desleimiento se los puede categorizar en 6 clases, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1
Clases de desleimiento

Clase	Interpretación
0-3	Inestabilidad relativa
4	Cierta estabilidad, pero poca resistencia
5-6	Estabilidad relativa

Nota. Fuente: USDA (1999).

3.4.1.5 Infiltración. Es el proceso de adsorción del agua en el suelo. Puede verse beneficiado por factores como: el crecimiento de raíces de las plantas, excavaciones de lombrices, agregación del suelo y aumento de materia orgánica; además de la compactación, destrucción de la estructura, taponamiento de poros, evitando así que exista un movimiento de agua hacia la profundidad del suelo (USDA, 1999). La capacidad de infiltración varía dependiendo del tipo de suelo, del tamaño del poro y su distribución (siendo mayor para las arenas y menor para los suelos arcilloso), la estructura, vegetación y capas del suelo (Heras, 2014).

3.4.1.6 Porosidad. Son los espacios ocupados por el aire y agua entre las partículas de un volumen de suelo. Depende de la textura, estructura, compacidad y materia orgánica presente en el suelo. Juega un rol importante en el crecimiento de las plantas, debido a que proporciona las cantidades adecuadas de aire y agua (Balasubramanian, 2017).

La porosidad depende del grado de desarrollo del suelo o su tipo de estructura, de esta forma, los suelos con mayor contenido de arcilla y materia orgánica, suelen poseer una porosidad

de alrededor del 60%, mientras que, los suelos compactados poseen valores muy bajos de porosidad (Gómez J. , 2013).

3.4.1.6.1 Macroporos. Se ubican entre los agregados del suelo, son los encargados de conducir el aire y agua a través del suelo. Tienen un diámetro mayor a 0.1 mm. (Baxter y Williamson, 2001).

3.4.1.6.2 Microporos. Se ubican dentro de los agregados del suelo, son los encargados de retener agua en el suelo. Tienen un diámetro menor de 0.1 mm (Baxter y Williamson, 2001).

3.4.1.7 Resistencia a la Penetración. Es un indicador de la compactación. A menor resistencia, menor es la compactación. Depende del contenido del agua en el suelo, mientras más seco esté, mayor será su penetración (USDA, 1999).

3.4.1.8 Densidad Real. Es la densidad de la fase sólida del suelo, en la mayoría de los suelos es constante, es decir, varía alrededor de 2,54 g/ cm³, sin embargo, puede diferir dependiendo de la cantidad de materia orgánica existente en suelo (Gómez J. , 2013).

3.4.1.9 Densidad Aparente. De acuerdo a la USDA (1999), “es el peso del suelo para un volumen determinado”. Es un indicador de la compactación, debido a que, a mayor densidad, menor porosidad y esto ocasiona que se vea afectado el crecimiento de raíces y el movimiento del agua(USDA, 1999). La densidad aparente depende también del tipo de suelo, es así que la arena presentará una mayor densidad aparente que la arcilla, tal como se muestra en la Tabla 2 (USDA, 1999). La textura del suelo es una propiedad física del suelo que afecta de forma directa a la densidad aparente, está relacionada con los siguientes valores:

Tabla 2*Relación de la textura con la densidad aparente*

Textura	Densidad aparente
Fina (arcillosos)	1,00-1,30 g/cm ³
Media (francos)	1,30-1,50 g/cm ³
Gruesa (arenosos)	1,50-1,70 g/cm ³

Nota. Fuente: Rubio (2010).

3.4.1.10 Profundidad del Horizonte Superior. La profundidad permite determinar la cantidad de agua y nutrientes que se puede almacenar tanto en plantas como en microorganismos (Baxter y Williamson, 2001). Está directamente relacionado con estos factores, por ende, mientras mayor sea la profundidad del horizonte superior, la calidad del suelo será mejor (USDA, 1999).

3.4.1.11 Crecimiento de las Raíces. La distribución de las raíces está relacionada con la profundidad del suelo, el espesor y resistencia mecánica de las capas que inhiben su crecimiento. Las raíces son un indicador de la porosidad el suelo y por ende de su compactación, así, al existir compactación en el suelo, las raíces mostrarán cambios morfológicos, serán más cortas, más gruesas y de forma irregular, debido a su crecimiento impedido (USDA, 1999).

3.4.1.11.1 Raíz Pivotante o Típica. Presenta un eje principal de mayor longitud y grosor del cual se desprenden las ramificaciones de menor grosor (Rueda, 2015).

3.4.1.11.2 Raíz Fasciculada. No presenta un eje principal de crecimiento y se le conoce también como raíces forma de cabellera ya que está constituida por un racimo de raíces (Costas, 2014).

3.4.2 Indicadores Químicos

La química del suelo juega un rol importante en la ecología de este recurso natural, debido a que define la capacidad de suministrar y almacenar nutrientes (Baxter y Williamson, 2001). Los indicadores químicos permiten determinar la cantidad y proporción de nutrientes presentes en el suelo (González, 2015).

3.4.2.1 pH del Suelo. Es una medida de acidez o alcalinidad. Los cambios en este factor pueden modificar las concentraciones específicas de cada elemento esencial en el suelo, y por ello, afecta al equilibrio y disponibilidad de nutrientes para las plantas (Baxter y Williamson, 2001). El pH óptimo para suelos agrícolas debe estar en un rango de 6,5 y 7,0 así se podrá alcanzar mejores rendimientos y mayor productividad debido a que en este rango los nutrientes son fácilmente más asimilables (Catalán, 2016).

3.4.2.2 Conductividad Eléctrica. La conductividad eléctrica (CE), es un indicador de las sales presentes en el suelo, son importantes para el crecimiento de las plantas. En el caso de existir un exceso de sales puede impedir el crecimiento de las plantas y afectar a la respuesta microbiana sobre el suelo, tal como se observa en la Tabla 3; son aceptables valores entre 0 y 0.8 dS/m (USDA, 1999).

Tabla 3
Conductividad eléctrica y clase de salinidad

Conductividad	Clase de salinidad	Respuesta de cultivo	Respuesta Microbiana
0-0,98	No salino	Efectos casi despreciables	Pocos organismos afectados
0,98-1,71	Muy ligeramente salino	Se restringen los rindes de cultivos muy sensibles	Se alteran procesos microbianos seleccionados
1,71-3,16	Ligeramente salino	Se restringen los rindes de la mayoría de los cultivos	Son influenciados los principales procesos microbianos (respiración/ amonificación)
3,16-6,07	Moderadamente salino	Sólo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente	Predominan microorganismos tolerantes (hongos, actinomicetes, algunas bacterias)
>6,07	Fuertemente salino	Sólo cultivos muy tolerantes rinden satisfactoriamente	Unos pocos organismos halofílicos seleccionados se mantiene activos

Nota. Fuente: USDA (1999).

3.4.2.3 Materia Orgánica. Forma del 1 al 5% de la parte sólida de suelo. Pese a su poca proporción, esta juega un papel importante en la regulación de las propiedades físicas, químicas y morfológicas del suelo (Bhattacharyya y Pal, 2015).

Está conformada por sustancias de origen orgánico, generalmente de tejidos de plantas y animales, que producto de la descomposición se transforman en complejos orgánicos de color oscuro llamado humus. Los microorganismos vivos aportan también parte del componente orgánico del suelo en forma de desechos metabólicos (Baxter y Williamson, 2001).

El contenido de materia orgánica para suelos agrícolas puede ser clasificado en 3 grupos, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4
Clasificación de la materia orgánica para suelos agrícolas

Rango (%)	Clasificación
<2	Pobre
2-4	Medio
>4	Alto

Nota. Fuente: Castillo (2005).

3.4.2.4 Nitratos. De acuerdo a la USDA (1999), “los nitratos son una forma inorgánica de nitrógeno asimilable por las plantas, formados a partir de la mineralización, por microorganismos, de formas orgánicas de N”. Pueden ausentarse inmediatamente por lixiviación y volatilización (USDA, 1999), es por ello que, a lo largo de un año los niveles de nitratos cambian constantemente. Valores menores a 20-22 ppm en la capa superficial de suelo se consideran bajos y es recomendable fertilizar (RILSAV, 2016).

3.4.3 Indicadores Biológicos

Las características biológicas del suelo son aquellas que integran los factores que afectan la cantidad de micro, macro organismos y sus subproductos (Bautista et al., 2004), mismos que representan la relación de la abundancia de la fauna en el suelo con los procesos de descomposición

y mineralización de residuos orgánicos (Banegas, 2014). Por ello, el componente biológico afecta directamente las características químicas y físicas del suelo (Baxter y Williamson, 2001).

3.4.3.1 Respiración del Suelo. Es un indicador de la actividad biológica, es así que, como se muestra en la Tabla 5, cuando se presenta un índice elevado significa que existe una elevada actividad biológica, por consiguiente, una rápida descomposición de residuos orgánicos (USDA, 1999).

Tabla 5
Índices generales para clases de respiración del suelo

Respiración del suelo kg C(en CO₂)/ha/d	Estado del suelo
0	No presenta actividad biológica por lo tanto es estéril.
<10,64	Presenta una actividad baja por lo tanto el suelo ha perdido mucha materia orgánica.
10,64-35,84	Presenta una actividad media-baja por lo tanto ha perdido parte de su materia orgánica.
35,84-71,68	Presenta una actividad biológica ideal y posee adecuada materia orgánica.
>71,68	Presenta una actividad microbiana muy alta, y tiene un elevado nivel de materia orgánica disponible.

Nota. Fuente: USDA (1999).

3.4.3.2 Bioindicadores: Lombriz de tierra (*Lumbricus*). Como bioindicador de calidad y salud del suelo es directamente proporcional, es decir, a mayor número de lombrices, mejores serán las condiciones del suelo (USDA, 1999).

Las lombrices actúan de forma positiva en la preservación de la estructura del suelo. Rendón et al., (2011) aseveran que “las lombrices de tierra actúan sobre el microclima y la aireación, en el movimiento y retención de agua, en el intercambio gaseoso y en las propiedades químicas y nutricionales del mismo, son capaces de activar o inhibir la función de los microorganismos y están involucrados en la conservación y ciclado de nutrientes”.

3.4.3.2.1 Lombriz Epígea. Viven cerca de la superficie del suelo y se alimentan de materia orgánica, son de pequeño tamaño, uniformemente pigmentadas. Presentan una alta reproducción y alta tasa metabólica permitiendo adaptarse a las condiciones ambientales del suelo. Son transformadoras del mantillo (Domínguez y Gómez, 2010).

3.4.3.2.2 Lombriz Endógea. Viven a mayor profundidad y se alimentan de materia orgánica asociada al suelo. Son de tamaño medio, poca pigmentación, presentan una baja reproducción, pero con ciclos de vida más largos (Domínguez y Gómez, 2010).

3.4.3.2.3 Lombriz Anécica. Viven permanentemente en galerías, extendiéndose varios metros hacia el perfil del suelo. Se alimentan de heces, hojarasca y materia orgánica en descomposición. Son de gran tamaño y de un color pardo oscuro. Presentan una baja reproducción, y comúnmente habita en macetas (Domínguez y Gómez, 2010).

3.5 Principales Coberturas de Uso de Suelo

3.5.1 Agrícola

Son zonas en donde se desarrollan diferentes tipos de cultivos perennes o anuales que serán cosechados y utilizados para el beneficio del ser humano (Burbano, 2016).

3.5.2 Pastizales

Están destinadas a la ganadería, se caracterizan por estar cubiertos completamente por diferentes especies de pastos que sirven como alimento del ganado (Fernández P. , 2016).

3.5.3 Urbana

Son las zonas en donde existe la presencia de casas, edificios, instalación de tuberías de alcantarillado, entre otras infraestructuras que benefician el desarrollo humano (Burbano, 2016). Se puede hacer referencia también a coberturas de suelo con influencia urbana, que son aquellos espacios de suelo destinados al almacenamiento de residuos domésticos en rellenos sanitarios

(Bhattacharyya y Pal, 2015). También se encuentran los espacios de suelo, con o sin cobertura vegetal, por donde escurren las aguas servidas hasta los ríos.

3.5.4 Industrial

Las coberturas de suelo industrial son aquellas en donde se desarrollan actividades industriales, por otra parte, se encuentran las coberturas de suelo con influencia industrial, estas se caracterizan por ser espacios de suelo en donde se depositan de forma directa residuos producto de las actividades industriales (Burbano, 2016).

3.5.5 Silvestre

Son las zonas en donde se desarrollan plantas, arboles, musgos, líquenes y organismos semejantes, sin ningún tipo de intervención antrópica (Alcantar et al., 2011).

3.6 Tipos de Degradación del Suelo

3.6.1 Erosión

Es la pérdida de materiales del suelo mediante el desplazamiento de estos a otro sitio. Esta alteración puede ser ocasionada por el agua, viento o labranza (FAO, 2016)

3.6.2 Compactación del Suelo

La compactación del suelo produce alteraciones en sus propiedades estructurales, tales como transferencia de gases, densidad, conductividad hidráulica y térmica (López R. , 2002).

3.6.3 Agotamiento de Nutrientes

Se produce por la disminución de materia orgánica. Tal degradación ocurre cuando la reserva de nutrientes no alcanza para la producción de biomasa o cuando los nutrientes son menores que la demanda de la biomasa (López R. , 2002).

3.6.4 Acidificación del Suelo

Es un proceso natural que suele ser acelerado a causa de la actividad humana. Producido principalmente por la lixiviación de bases, tiene como consecuencia la reducción la producción de cultivos, bosques y pastizales (López R. , 2002).

3.6.5 Degradación Biológica

Es la pérdida de la biodiversidad y materia orgánica por actividad de la mineralización acelerada, ocasionando daños principalmente a suelos agrícolas (Piscitelli, 2015).

3.7 Principales Causas de Degradación de los Suelos

La degradación del suelo es un proceso natural, sin embargo, en la actualidad está siendo acelerada por actividades humanas (Montanarella et al., 2015). Entre las principales causas de degradación del suelo a nivel global se encuentran las siguientes:

3.7.1 Agricultura Intensiva

Esta causa incluye la rápida expansión de tierras agrícolas, acortamiento de periodos de barbecho, uso de fuego, uso desmedido de fertilizantes y pesticidas. Estas acciones provocan la disminución de materia orgánica en el suelo, alteración del pH y toxicidad por metales pesados contenidos en los pesticidas y fertilizantes sintéticos (Encina y Ibarra, 2005).

3.7.2 Sobrepastoreo

El uso inadecuado de los pastizales conduce a la destrucción de la estructura del suelo y, como resultado, a la compactación del mismo (Montanarella et al., 2015).

3.7.3 Deforestación

En la actualidad se han registrado altas tasas de pérdida de bosques y zonas boscosas.

La deforestación es impulsada principalmente por la demanda continua de tierras agrícolas; extracción de madera para combustible, producción de carbón vegetal o para fines de construcción y ampliación de los límites de asentamientos urbanos (Montanarella et al., 2015).

3.7.4 *Expansión de la Población*

Dentro del impulsor demográfico se encuentra la rápida urbanización, la construcción de zonas industriales, sistemas de alcantarillado, construcción de rellenos sanitarios, construcción de carreteras, entre otros; estos ocasionan un daño permanente e irreversible sobre los suelos (Bhattacharyya y Pal, 2015).

3.7.5 *Cambio Climático*

Se prevé que las condiciones extremas, sea de altas o bajas temperaturas, junto con los cambios de uso de suelo, intensifiquen los daños causados sobre este recurso (Montanarella et al., 2015).

A nivel más regional (Ecuador), las principales causas de degradación de los suelos se centran en la deforestación y remoción del suelo para la ampliación de límites agrícolas y/o urbanos, esta última, afecta notablemente el crecimiento desordenado de las ciudades, adicional a esto se encuentra las prácticas de sobrepastoreo causado por la excesiva carga de ganado sobre este recurso (FAO, 2018).

A nivel local (cantón Loja), las principales causas de degradación no distan de aquellas existentes a nivel local, puesto que entre las principales se encuentra encabezando la deforestación, causada por la extracción de cobertura boscosa para la extensión de potreros, pastizales, áreas urbanas, áreas agropecuarias, construcción de vías y demás infraestructura (Municipio de Loja, 2014).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales

4.1.1 *Materiales para Ensayos Físicos*

En la Tabla 6 se observan los materiales para ensayos físicos, utilizados en la investigación.

Tabla 6
Materiales para ensayos físicos

Ensayos físicos			
Infiltración	Densidad aparente	Desleimiento	Profundidad del horizonte superior, crecimiento de raíces, resistencia a la penetración, estructura del suelo y textura del suelo
<ul style="list-style-type: none"> • anillo de 6" de diámetro • envoltura plástica • botella plástica de 500 mL • agua destilada • cronómetro 	<ul style="list-style-type: none"> • anillo de 3" de diámetro • maza • bloque de madera • espátula • bolsas sellables • marcador • balanza (precisión 0,1 g) • cucharón 1/8 de taza • cápsulas • vara metálica de 18" • horno microondas 	<ul style="list-style-type: none"> • equipo completo para estabilidad • cucharón de muestreo de 1/8 de taza • agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> • flexómetro • pala ancha • vara metálica de 18" • agua potable

Nota. Fuente: adaptado de USDA (1999).

4.1.2 *Materiales para Ensayos Químicos*

En la Tabla 7 se observan los materiales para ensayos químicos, utilizados en la investigación.

Tabla 7
Materiales para ensayos químicos

Ensayos químicos			
Conductividad eléctrica (CE)	pH	Nitratos	Calidad de agua: Nitratos, Nitritos y CE
<ul style="list-style-type: none"> • cucharón de muestreo, de 1/8 de taza • recipientes plásticos de 120 mL, con tapa • medidor de bolsillo para CE • piseta • solución de calibración (0.01 M KCl) • agua destilada. 	<ul style="list-style-type: none"> • cucharón de muestreo, de 1/8 de taza • botella plástica • soluciones tampón para calibración • piseta • medidor de bolsillo para pH • agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> • papel filtro grado 5 • recipiente plástico de 120 mL, con tapa • cuentagotas • cinta de ensayo nitrato/nitrito • cronómetro • agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> • papel filtro grado 5 • recipientes plásticos de 120 mL, con tapas • cuentagotas • cinta de chequeo de nitratos/nitritos • cronómetro • medidor de bolsillo de CE • recipiente plástico de 120 mL y tapas • agua destilada

Nota. Fuente: adaptado de USDA (1999).

4.1.3 Materiales para Ensayos Biológicos

En la Tabla 8 se observan los materiales para ensayos biológicos, utilizados en la investigación.

Tabla 8
Materiales para ensayos biológicos

Ensayos biológicos	
Respiración del suelo	Bioindicadores
<ul style="list-style-type: none"> • anillo de 6" de diámetro • tapa con tapones de goma • maza, y bloque de madera • termómetro de suelo • 2 secciones de tubería plástica • tubos Draeger • jeringa de 140 cm³ • cronómetro 	<ul style="list-style-type: none"> • agua potable (2L) • pala • recipiente para la colección de las lombrices y su limpieza

Nota. Fuente: adaptado de USDA (1999).

4.2 Métodos

El proceso detallado a continuación está basado en la investigación experimental y descriptiva a través de los análisis *in situ* de los parámetros: respiración del suelo, infiltración,

desleimiento, conductividad eléctrica, pH, nitratos, compactación, estructura del suelo, tipo de raíces y bioindicadores (*Lumbricus*). Además de los análisis en laboratorio del parámetro densidad aparente. La aplicación de esta metodología aseguró el logro de los objetivos planteados en la investigación

4.2.1 Diseño Experimental

4.2.1.1 Tipo de Diseño Experimental. Se utilizó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) en arreglo factorial 4x4, en donde los factores en estudio analizados fueron: coberturas de suelo y altitudes.

- Coberturas de Suelo, las principales coberturas identificadas fueron: cultivo, silvestre, pastizales y con influencia urbana.

Figura 2

Cobertura pastizal



Nota. Cobertura de pastizal del punto 4, se encontró gran cantidad de estiércol fresco. Fuente: La investigación.

Figura 3

Cobertura con influencia urbana



Nota. Punto de descarga de aguas servidas identificada en el punto 2. Fuente: La investigación.

Figura 4
Cobertura de cultivo



Nota. Cultivo de plátano (*Musa x paradisiaca*) identificado en el punto 3. Fuente: La investigación.

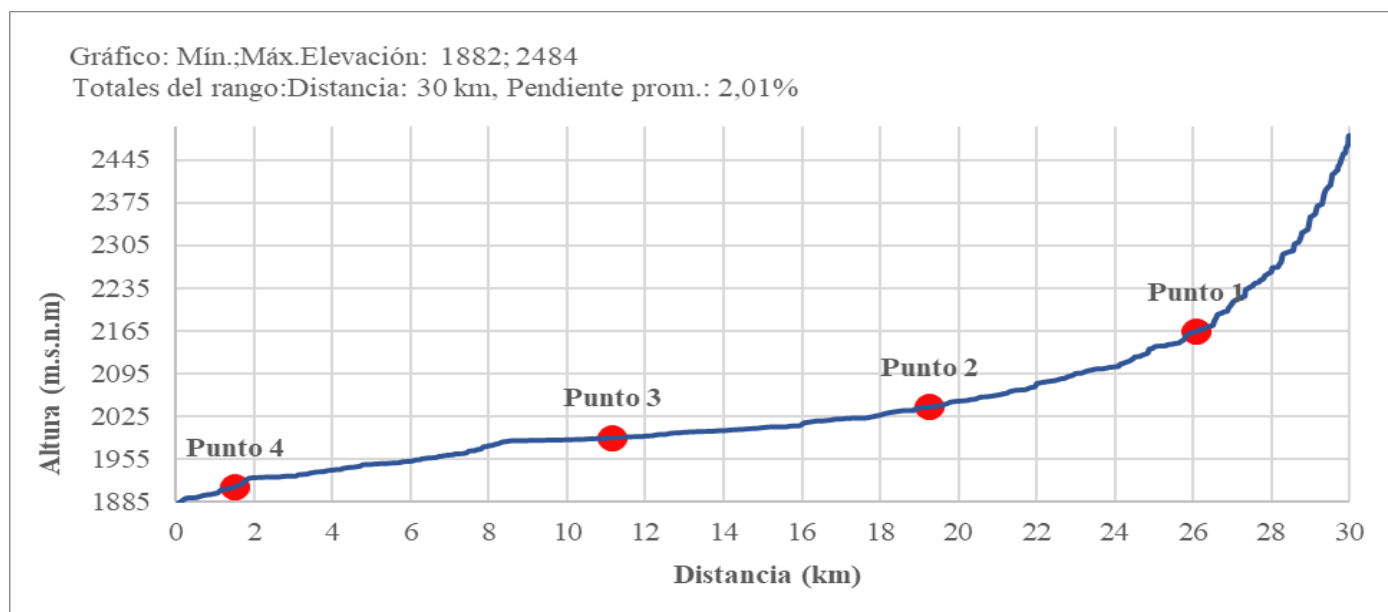
Figura 5
Cobertura silvestre



Nota. Vegetación silvestre identificada en el punto 3, en donde predomina la especie *Thunbergia alata*. Fuente: La Investigación.

- Altitudes, se estableció cuatro altitudes a lo largo del perfil topográfico de los ríos en estudio. Las cuatro altitudes definidas para la investigación fueron: 2160 msnm, 2040 msnm, 1990 msnm y 1900 msnm, como se puede observar en la Figura 6.

Figura 6
Perfil topográfico río Zamora y Zamora Huayco



Nota. Esta gráfica indica el perfil topográfico a lo largo de los ríos Zamora y Zamora Huayco, cuya altitud máxima es de 2484 y la mínima es de 1882, su longitud total es de 30 km y tiene un pendiente promedio del 2%. Muestra también la distribución de los 4 puntos de muestreo. Fuente: La Investigación

4.2.1.2 Tratamientos. Se estableció los tratamientos a partir de la interacción de los factores en estudio (cobertura y altitud), en todas las altitudes se identificó los 4 tipos de coberturas, a excepción del punto 2, en donde no existían zonas de cultivo, por ello se excluyó este tratamiento; obteniendo como resultado 15 tratamientos, como se puede observar en la Tabla 9.

Tabla 9
Tratamientos

		Factor altitud			
		P1	P2	P3	P4
Factor cobertura	C	P1C	-	P3C	P4C
	P	P1P	P2P	P3P	P4P
	S	P1S	P2S	P3S	P4S
	U	P1U	P2U	P3U	P4U

Nota. Los niveles del factor altitud corresponden a los puntos de muestreo (P1, P2, P3, P4) y los niveles del factor cobertura corresponden a las coberturas de uso de suelo (C: cultivo, P: pastizal, S: silvestre, U: influencia urbana)
Fuente: La investigación.

Cada uno de los tratamientos corresponden a una altitud y cobertura específica, la Tabla 10 muestra a detalle la descripción de cada uno de los tratamientos establecidos para la presente investigación.

Tabla 10
Descripción de Tratamientos

N.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
1	P1C	Punto 1 (2160 m.s.n.m.), cobertura de cultivo
2	P1P	Punto 1 (2160 m.s.n.m.), cobertura pastizal
3	P1S	Punto 1 (2160 m.s.n.m.), cobertura silvestre
4	P1U	Punto 1 (2160 m.s.n.m.), cobertura con influencia urbana
5	P2P	Punto 2 (2040 m.s.n.m.), cobertura pastizal
6	P2S	Punto 2 (2040 m.s.n.m.), cobertura silvestre
7	P2U	Punto 2 (2040 m.s.n.m.), cobertura con influencia urbana
8	P3C	Punto 3 (1990 m.s.n.m.), cobertura de cultivo
9	P3P	Punto 3 (1990 m.s.n.m.), cobertura pastizal
10	P3S	Punto 3 (1990 m.s.n.m.), cobertura silvestre
11	P3U	Punto 3 (1990 m.s.n.m.), cobertura con influencia urbana
12	P4C	Punto 4 (1900 m.s.n.m.), cobertura de cultivo
13	P4P	Punto 4 (1900 m.s.n.m.), cobertura pastizal
14	P4S	Punto 4 (1900 m.s.n.m.), cobertura silvestre
15	P4U	Punto 4 (1900 m.s.n.m.), cobertura con influencia urbana

Nota. Fuente: La investigación

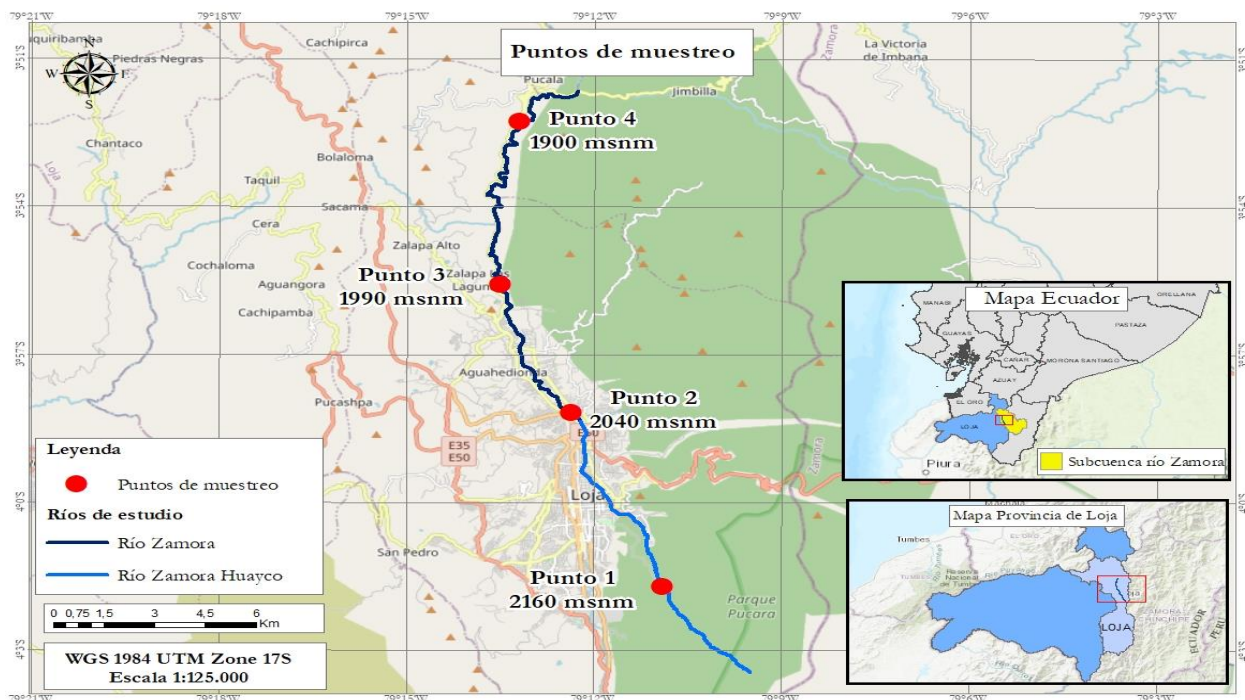
4.2.1.3 Repeticiones. Considerando que el número de repeticiones recomendado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), para este tipo de investigación, es un mínimo de tres muestras en cada punto, se estableció realizar cuatro repeticiones por cada localidad y tipo de uso del suelo.

4.2.1.4 Unidad Experimental. Cada unidad experimental constó de una parcela de forma cuadrada de 1 m por cada lado y 0,40 m de profundidad sobre o próxima a cada cobertura identificada en las distintas altitudes. Considerando el número de puntos de muestreo, coberturas y repeticiones, en la investigación se obtuvo un total de 60 Unidades Experimentales.

4.2.1.5 Croquis del Experimento. Los puntos de muestreo fueron establecidos a lo largo de las riveras de los ríos Zamora y Zamora Huayco, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7

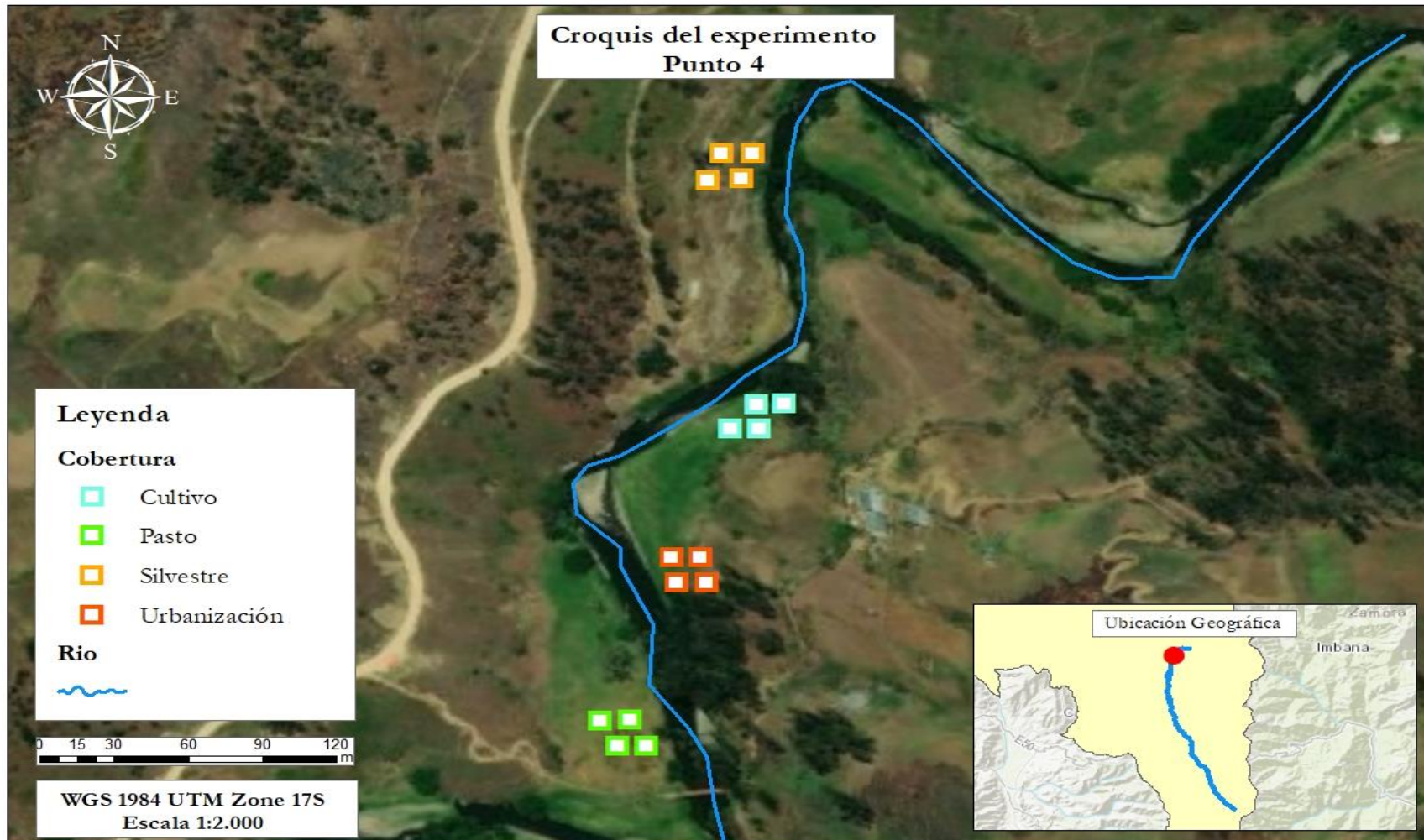
Mapa de puntos de muestreo en los Ríos Zamora y Zamora Huayco.



Nota. El mapa indica la ubicación de los puntos de muestreo a lo largo de los ríos Zamora y Zamora Huayco e indica la altitud en cada uno de ellos. En la parte inferior derecha se muestra la ubicación de la zona de estudio a nivel nacional y provincial. Fuente: La investigación

El croquis del experimento detallado en la Figura 8 indica la distribución de los 4 tipos de coberturas con sus 4 repeticiones cada una, en uno de los puntos muestreados.

Figura 8
Mapa de las coberturas de suelo



Nota. El mapa indica la distribución de los 4 tipos de coberturas con sus 4 repeticiones cada una, en el punto 4 localizado a 1900 m.s.n.m. Fuente: La investigación.

4.2.2 Variables

Se evaluaron un total de 17 variables, medidas en cada parcela en condiciones similares. Se analizó estadísticamente cada variable, dependiendo de su tipo se aplicó dos métodos de evaluación. Las variables cuantitativas fueron evaluadas mediante un análisis de varianza (ANOVA), mientras que las variables cualitativas fueron analizadas mediante estadística descriptiva.

4.2.2.1 Variables Cuantitativas

- Respiración del suelo. En el centro de la parcela de cada unidad experimental se instaló una cámara de respiración y se midió *in situ* los kg CO₂/ha/d emitidos.
- Infiltración. Posterior a la medición del flujo de CO₂, se midió *in situ* el tiempo en que el suelo absorbía 2.54 cm de agua.
- Densidad aparente. Se tomó un volumen conocido de suelo con un cilindro, para calcular cuántos gramos de suelo existe por cm³.
- Conductividad (ds/m), pH y nitratos (ppm) en el suelo. Se tomaron muestras de suelo a una profundidad aproximada de 7 cm para la medición de estos parámetros.
- Densidad poblacional de lombrices de tierra. Se determinó la abundancia de lombrices existentes en cada parcela hasta una profundidad de 0,4 m.
- Conductividad (ds/m), nitratos (ppm) y nitritos (ppm) en el agua. Se tomaron muestras de agua del río colindante con los puntos de muestreo para la evaluación de estos parámetros.

4.2.2.2 Variables Cualitativas

- Desleimiento. Se evaluó *in situ* la estabilidad y resistencia del suelo utilizando una cámara de desleimiento.

- Porosidad. Se calculó el porcentaje de porosidad de los suelos muestreados con los datos de campo de densidad aparente y datos teóricos de densidad real.
- Tipos de raíces. Se identificó *in situ* el tipo de raíz predominante en cada punto de muestreo.
- Compactación. Se identificó *in situ* si el suelo muestreado estaba o no compactado y se verificó lo establecido mediante el análisis de la densidad aparente de cada punto.
- Estructura del suelo. Se identificó *in situ* el tipo, tamaño y grado de los ‘peds’ que formaban los suelos muestreados.
- Textura del suelo. Se identificó *in situ*, por el método del tacto, la textura de cada uno de los suelos muestreados.

4.2.3 Prueba de Significancia

Para el análisis de los rangos de significación entre las variables cuantitativas se utilizó la prueba de significancia estadística de Fisher al 5 y 1 % y la prueba de Tukey al 5%.

4.2.4 Manejo Especifico del Experimento

4.2.4.1 Determinación de Puntos de Muestreo. Los puntos de muestreo fueron analizados y definidos con la herramienta Google Earth. Luego, se evaluó su accesibilidad mediante verificación *in situ*, donde se fijó los puntos definitivos con la herramienta GPSMAP64 GARMIN.

Figura 9
Determinación de puntos de muestreo



Nota. Toma de puntos de muestreo con la herramienta GPSMAP64 GARMIN. Fuente: La investigación.

Figura 10
Toma de punto de muestreo con GPS



Nota. Punto tomado en la cobertura de cultivo punto 1 con la herramienta GPSMAP64 GARMIN. Fuente: La investigación.

4.2.4.2 Preparación del Área de Muestreo. Se realizó el deshierbado manualmente, con pala, pico y barra de acero en cada unidad experimental, para facilitar el trabajo al momento de realizar los ensayos de análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos.

Figura 11
Preparación del área de muestreo



Nota. Limpieza de las unidades experimentales ya delimitadas para proceder con los análisis. Fuente: La investigación.

Figura 12
Unidades experimentales excavadas



Nota. Unidades de análisis en la cobertura cultivo del punto 1 después de haber realizado los ensayos. Fuente: La investigación.

4.2.4.3 Delimitación de las Unidades Experimentales. Se trazó con cementina cuadrados de 1m x 1m para cada una de las unidades experimentales y las respectivas repeticiones.

Figura 13
Delimitación de unidades experimentales



Nota. Trazo de cuadrados para delimitación de unidades experimentales con cementina. Fuente: La investigación.

Figura 14
Unidades experimentales delimitadas



Nota. Delimitación de repeticiones en la cobertura de cultivo punto 1. Fuente: La investigación.

4.2.4.4 Análisis de Parámetros Físicos. El análisis de los parámetros físicos se basó en la metodología propuesta en la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 1999).

4.2.4.4.1 Ensayo de Infiltración

1. Se emplazó el anillo de 6" de diámetro en el suelo. Se usó los dedos con cuidado para suavemente afirmar el suelo alrededor de los bordes internos del anillo para prevenir filtraciones adicionales.
2. Se cubrió con una lámina de plástico la superficie del suelo dentro del anillo. Se llenó la botella plástica, hasta la marca de 444 mL, con agua destilada. Se vertió esta cantidad de agua en el anillo recubierto con la envoltura de plástico. Se sacó la cobertura de plástico tirando con cuidado hacia fuera, dejando el agua dentro del anillo.
3. Se registró el tiempo (en minutos) que requiere 1 pulgada de agua para penetrar en el suelo.

Cálculos

$$\text{Conversión de tiempo de infiltración (cm/hr)} = \left(\frac{2.54}{\text{tiempo de infiltración}} \right) * 6$$

(Ecuación 1)

Figura 15

Ensayo de infiltración



Nota. Remoción de la lámina de plástico que cubre la superficie del suelo de la cobertura pastizal punto 2. Fuente: La investigación.

Figura 16

Toma de tiempo con cronómetro



Nota. Toma de tiempo que se tarda en penetrar una pulgada de agua en el suelo de la cobertura de cultivo punto 3. Fuente: La investigación.

4.2.4.4.2 *Ensayo de Densidad Aparente*

1. Se usó la maza y el bloque de madera, para clavar un anillo de 3" de diámetro, hasta una profundidad de 7,62 cm o hasta que el anillo entre. Se realizó cuatro mediciones de la altura del borde superior del anillo desde la superficie del suelo y se calculó el promedio.
2. Se cavó alrededor del anillo y se levantó con cuidado previniendo pérdidas de suelo. Se removió el exceso de suelo de la muestra con la espátula. Se empujó la muestra dentro de una bolsa de plástico con cierre. Se aseguró que toda la muestra haya sido introducida en la bolsa. Se cerró y etiquetó la bolsa.

3. Se pesó la muestra del suelo en su bolsa. Se pesó también una bolsa de plástico vacía para calcular el peso exacto de la muestra.
4. Se mezcló bien la muestra, con los dedos. Se tomó una submuestra en 1/8 de taza. Se colocó en una cápsula de porcelana y se pesó. Se pesó 1 cápsula de porcelana vacía. Se secó la submuestra en el horno de microondas y con 2 o más ciclos de 4 minutos a intensidad máxima. Se pesó la submuestra seca en la cápsula de porcelana y se registró el peso.

Cálculos

$$L \text{ [Peso seco de la submuestra de suelo] (g) = (K - G) \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$M \text{ [Contenido de agua del suelo] (g/g) = } \frac{(I - G) - L}{L} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$D \text{ [Densidad aparente del suelo] } \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\left[\frac{(E-F)}{(1+M)} \right]}{[(12,7-h)*3,81^2]} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$P \text{ [Porosidad del suelo] (\%)} = 1 - \frac{D}{D_r} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

L: Peso seco de la submuestra de suelo

K: Peso del suelo seco + crisol

G: Peso del crisol

M: Contenido de agua del suelo

I: Peso suelo + crisol

D: Densidad aparente del suelo

E: Peso del suelo, con la humedad al muestreo + bolsa

F: Peso de la bolsa

P: Porosidad

D_r: Densidad real

h: Altura del anillo

Figura 17

Colocación del anillo de 3 pulgadas



Nota. El anillo de 3" fue colocado sobre la cobertura pastizal punto 2 para realizar el ensayo de densidad aparente. Fuente: La investigación.

Figura 18

Secado de las submuestras



Nota. Las submuestras de suelo de la cobertura de cultivo punto 1 colocadas en el microondas para la obtención de una submuestra seca. Fuente: La investigación.

4.2.4.4.3 *Ensayo de Desleimientos*

1. Se recogió con cuidado 16 fragmentos o agregados de la superficie del suelo usando el mango del cucharón de muestreo. Se tuvo cuidado de no destruir los fragmentos o agregados durante el muestreo.
2. Se llenó con agua los compartimentos del equipo para la estabilidad. El agua tuvo 2 cm de profundidad y estuvo a una temperatura aproximadamente igual a la del suelo. Después, se puso los fragmentos de suelo en los cestos de tamizado y se colocó los tamices en la caja llena de agua.
3. Se observó el fragmento de suelo por 5 minutos para determinar la clase del 1 al 3, como se observa en la Tabla 11.
4. Después de los 5 minutos, se sacó el tamiz fuera del agua y se sumergió de nuevo. Se repitió las inmersiones 4 veces más y se determinó las clases del 3 al 6, como se observa en la Tabla 11.

5. Se registró las evaluaciones para todos los fragmentos o agregados.

Tabla 11

Criterios para asignación de clases de estabilidad

Clase de Estabilidad	Criterios para asignación en clases de estabilidad para Caracterización Estándar
0	El suelo es demasiado inestable para ser muestreado (pasa a través del tamiz)
1	50% de la integridad estructural se pierde al cabo de 5 segundos de inserción en agua.
2	50% de la integridad estructural se pierde al cabo de 5-30 segundos de inmersión.
3	50% de la integridad estructural se pierde al cabo 30 – 300 segundos de inmersión
4	10-25% de suelo permanece en el tamiz después de 5 ciclos de inmersión.
5	25-75% de suelo permanece en el tamiz después de 5 ciclos de inmersión.
6	75 –100 % de suelo permanece en el tamiz después de 5 ciclos de inmersión

Nota. La tabla representa los criterios para la asignación de la clase de estabilidad del suelo que es evaluada según el tiempo requerido por el fragmento para desintegrarse durante una inmersión de cinco minutos. Fuente: USDA (1999).

Cálculos

$$\text{Evaluación Promedio de Desleimiento de Suelos} = \frac{d1+d2+\dots+d16}{16} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Figura 19

Recolección de fragmentos de suelo



Nota. Se recogió 16 fragmentos o agregados de la superficie del suelo en la cobertura pastizal punto 2. Fuente: La investigación.

Figura 20

Análisis de los fragmentos



Nota. Se observó por 5 minutos los fragmentos de suelo para determinar la clase de estabilidad. Fuente: La investigación.

4.2.4.4.4 Observaciones y Estimaciones Físicas del Suelo

Se cavó en el área de muestreo hasta una profundidad de 40 cm para realizar las observaciones y estimaciones físicas.

- **Profundidad del Horizonte Superior.** Se midió la profundidad del horizonte superficial, fijándose en cambios de color, descendiendo desde la superficie, a lo largo del perfil. El horizonte superficial se distinguió usualmente por un color más oscuro que el material infrayacente.

Figura 21
Medición del pozo cavado



Nota. Con un flexómetro se midió el pozo cavado en la cobertura pastizal punto 2. Fuente: La investigación.

Figura 22
Medición del horizonte superficial



Nota. El horizonte superficial medido fue distinguido por tener un color más oscuro. Fuente: La investigación.

- **Crecimiento de Raíces.** Se observó las raíces de las plantas mientras se realizaban las excavaciones y se identificó el tipo de raíz predominante.

Figura 23

Raíz pivotante de árbol de naranja



Nota. Raíz del árbol de naranja encontrada en la cobertura de cultivo punto 4. Fuente: La investigación.

Figura 24

Raíz pivotante de árbol de limón



Nota. Raíz del árbol de lima encontrada en la cobertura de cultivo punto 4. Fuente: La investigación.

- **Resistencia a la Penetración.** Se usó la espátula metálica para chequear una de las paredes laterales, desde la superficie hasta el fondo. Se determinó cambios o diferencias en resistencia a la penetración mientras se revisó la pared. Se determinó la existencia de capas compactadas que pudiesen restringir el crecimiento radicular o el movimiento del agua.

Figura 25

Determinación de la resistencia



Nota. Se determinó la resistencia a la penetración usando una espátula en una de las paredes laterales de la cobertura con influencia urbana punto 1. Fuente: La investigación.

- **Estructura del Suelo.** Se observó la estructura del suelo en el pozo cavado, hasta una profundidad de aproximadamente 12 pulgadas. Se midió y marcó, de arriba hacia abajo, incrementos de 0 a 4 pulgadas, 4 a 8 pulgadas y 8 a 12 pulgadas. Se reconoció y anotó el tipo, tamaño, y grado de las unidades estructurales del suelo o agregados, para cada incremento de profundidad, como se puede observar en la Tabla 12.

Tabla 12

Tipo, tamaño y grado de las unidades estructurales del suelo

Estructura			Clase
Tipo	Tamaño	Grado	
Granular	fino, medio, grueso	débil	2
Granular	fino, medio, grueso	moderado	4
Granular	fino, medio, grueso	fuerte	5
Bloque	muy fino, fino, medio	débil	1
Bloque	muy fino, fino	moderado	4
Bloque	muy fino, fino, medio	fuerte	5
Bloque	medio	moderado	3
Laminar	delgado, medio, grueso	muy friable b	3
Laminar	delgado, medio, grueso	friable b	2
Laminar	delgado, medio, grueso	firme o muy firme b	1
Masivo			1
Grano suelto			1

Nota. Fuente: USDA (1999).

Cálculos

$$\text{Índice de estructura} = \left[\frac{(\text{Total}) - 6}{24} \right] \times 100 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Total: (A)x(B)

Donde:

(A): Clase

(B): 3 (0'' - 4'' de profundidad); 2 (4'' - 8'' de profundidad); 1 (8'' - 12'' de profundidad).

Figura 26
Observación de la estructura del suelo



Nota. Pozo cavado a una profundidad de 12 pulgadas en la cobertura pastizal punto 4. Fuente: La investigación.

Figura 27
Reconocimiento de unidades estructurales del suelo



Nota. Medición para el respectivo reconocimiento del tipo, tamaño, y grado de las unidades estructurales del suelo o agregados en la cobertura pastizal punto 2 a diferentes profundidades. Fuente: La investigación.

- **Textura del Suelo.** Se realizó el procedimiento textural por tacto para las tres pulgadas superiores del suelo.

Figura 28
Determinación de la clase textural



Nota. Formación una pelota con el suelo de la cobertura pastizal del punto 2. Fuente: La investigación.

Figura 29
Procedimiento textural por tacto



Nota. Con el pulgar e índice se formó una cinta con el suelo de la cobertura silvestre del punto 3. Fuente: La investigación.

4.2.4.5 Análisis de Parámetros Químicos. El análisis de parámetros químicos se basó en la metodología propuesta en la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 1999).

4.2.4.5.1 *Ensayo de Conductividad Eléctrica.*

1. Las muestras de suelo para conductividad eléctrica fueron tomadas a una profundidad de 0 a 3 pulgadas. Las muestras de suelos fueron minuciosamente mezcladas antes de tomar las submuestras. Se tomó submuestras de 1/8 de taza, con el cucharón de muestreo lleno al ras, y se puso en un recipiente plástico.
2. Se agregó 1/8 de taza de agua destilada al recipiente con la submuestra. La resultante de la mezcla suelo-agua, corresponde a una relación 1:1 de suelo a agua, en base a volúmenes. Se puso la tapa sobre el recipiente y se agitó vigorosamente alrededor de 25 veces.
3. Se abrió el recipiente e insertó el medidor de bolsillo de CE en la mezcla de suelo–agua. Se realizó la lectura mientras las partículas del suelo estaban todavía suspendidas en la solución. Para evitar que las partículas se depositen, se movió suavemente la solución con el medidor de CE.
4. Se registró la lectura de CE en decisiemens por metro (dS/m). Se apagó el medidor, se enjuagó con agua destilada y se puso la tapa.

Figura 30

Toma de la submuestra para medición de CE



Nota. La submuestra fue tomada con un cucharón de muestreo de 1/8 de taza. Fuente: La investigación.

Figura 31

Resultado de medición de CE del suelo



Nota. Resultado obtenido de la conductividad eléctrica de la submuestra de suelo de la cobertura con influencia urbana punto 2. Fuente: La investigación.

4.2.4.5.2 Ensayo de pH

Con la misma mezcla suelo-agua preparada para el ensayo de CE se procedió a realizar el ensayo de pH con el medidor de pH previamente calibrado. Se enjuagó completamente el electrodo con agua destilada. Se guardó el electrodo con algunas gotas de la solución tampón de pH = 7 y se puso la tapa.

Figura 32

Medición de pH del suelo



Nota. El pH fue medido en la mezcla suelo-agua preparada para el ensayo de CE de la cobertura con influencia urbana punto 2. Fuente: La investigación.

Figura 33

Resultado de medición del pH en el suelo



Nota. Resultado de la medición de pH con la mezcla suelo-agua preparada en el ensayo de CE de la cobertura pastizal punto 3. Fuente: La investigación

4.2.4.5.3 *Ensayo de Nitratos*

Se usó la misma muestra, preparada para los ensayos de CE y pH, para medir los nitratos del suelo.

1. Se plegó el papel de filtro por la mitad (haciendo un semicírculo), luego se abrió el papel filtro, dándole forma de cono, y empujándolo (parte punteada primero) dentro del vaso con la mezcla de suelo-agua hasta que toque el fondo del vaso. Se esperó hasta que alrededor de un volumen de cuentagotas haya filtrado hacia el interior del papel de filtro.
2. Usando el cuentagotas y una cinta de chequeo de nitratos/nitritos se dejó caer 1 o 2 gotas de la solución filtrada sobre cada una de las dos almohadillas sensibles de la cinta. Se anotó la hora. Se alineó la cinta de ensayos con el diagrama sobre la botella y luego de 60 segundos, se comparó el extremo de la banda sensible con la escala de nitratos.
3. Se estimó la cantidad de nitratos de acuerdo con el cambio de color. Se registró el valor de la escala de nitratos, en ppm. El valor es una estimación de la concentración de N en nitratos en el extracto.

Cálculos

$$\begin{aligned} \text{Volumen (m}^3\text{) de suelo en 1 Ha (10000m}^2\text{)} &= Pfx10000 && \text{(Ecuación 8)} \\ \text{Masa de la capa de suelo (kg)} &= VxD && \text{(Ecuación 9)} \\ N(\text{en NO}_3^-)(\text{mg NO}_3^- \text{ N /Ha)} &= Mx(Y) && \text{(Ecuación 10)} \\ N(\text{en NO}_3^-)(\text{Kg NO}_3^- \text{ N/Ha)} &= \frac{N(\text{en NO}_3^-)(\text{mg NO}_3^- \text{ N /Ha)}}{1000000} && \text{(Ecuación 11)} \end{aligned}$$

Donde:

V: Volumen (m³) de suelo en 1 ha (10000 m²)

Pf: Profundidad del suelo muestreado (m)

M: Masa de la capa de suelo (kg)

D: Densidad aparente (kg/m^3)

(Y): $\text{N(enNO}_3\text{--N)}$ del suelo ppm

Figura 34

Recipientes con papel filtro



Nota. El papel filtro en forma de cono sumergido dentro del recipiente con la mezcla de suelo-agua hasta tocar el fondo del recipiente. Fuente: La investigación.

Figura 35

Uso del cuentagotas



Nota. Colocación de gotas en la almohadilla de la cinta de chequeo de nitratos/nitritos. Fuente: La investigación.

4.2.4.5.4 Ensayos de Calidad de Agua

- **Nitratos y Nitritos**

1. Se recogió una muestra de agua en el recipiente plástico y se llenó hasta aproximadamente $\frac{1}{3}$ de su volumen. Se plegó un trozo de papel filtro, tal como se realizó en el ensayo de Nitratos del Suelo. Se insertó el papel filtro dentro del recipiente y se dejó que filtre agua hacia el interior del recipiente.
2. Usando un cuentagotas, se juntó una muestra de agua filtrada. Se puso 1 o 2 gotas de la solución filtrada en cada una de las 2 partes sensibles de la cinta. Se anotó la hora. Después de 30 segundos, se midió y registro los nitritos. Se estimó la cantidad de nitritos de acuerdo con el grado de cambio de color y se registró el valor de nitritos, en ppm, tomado de la escala de la botella.

- Después de 60 segundos, se midió y registro nitratos de acuerdo con el grado de cambio de color. Se ingresó el valor de nitratos, en ppm, tomado de la escala de la botella.

Figura 36
Muestreo de agua



Nota. La muestra fue tomada del del río Zamora Huayco cerca de la cobertura de cultivo punto 1. Fuente: La investigación.

Figura 37
Medición de nitratos del agua



Nota. Se midió y registro la cantidad de nitratos según el grado de cambio de color. Fuente: La investigación.

- Conductividad Eléctrica***

Se recogió una muestra de agua en un recipiente de plástico y se llenó hasta aproximadamente 1/3 del volumen, después se insertó el medidor de bolsillo de CE dentro de la muestra de agua, permitiendo que la lectura se estabilice (10 segundos) y se anotó la lectura de CE en decisiemens por metro (dS/m). Se apagó el medidor. Se enjuagó minuciosamente el medidor con agua destilada, y se puso nuevamente la tapa.

Figura 38
Medición de CE del agua



Nota. Se midió la CE de la muestra tomada del río Zamora cerca de la cobertura con influencia urbana punto 2. Fuente: La investigación.

Figura 39
Resultado de medición de CE del agua



Nota. Resultado de la medición de CE del agua cerca de la cobertura de cultivo punto 1. Fuente: La investigación.

4.2.4.6 Análisis de Parámetros Biológicos. Para el análisis de parámetros biológicos se basó en la metodología propuesta en la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, (USDA, 1999).

4.2.4.6.1 Ensayo de Respiración del Suelo

1. Se limpió el área del muestreo de residuos superficiales. Se usó la maza y el bloque de madera para clavar el anillo de 6", con el borde biselado hacia abajo, hasta una profundidad de 3". Después se cubrió el anillo con la tapa y se anotó la hora, se esperó 30 minutos (para permitir que el CO₂ se acumule dentro del anillo).
2. Se insertó el termómetro de suelos dentro del suelo adyacente al anillo con tapa (a una distancia de 1" del anillo, y hasta una profundidad de 1").
3. Se realizó la conexión con el tubo Draeger justo antes de finalizar la espera de 30 minutos. Se conectó una aguja a un tubo de goma, se rompió ambos extremos del tubo de Draeger. Se conectó el tubo Draeger al otro extremo del tubo de goma (la

flecha en el costado del tubo Draeger debía apuntar en dirección contraria a la de la conexión con la aguja), con un segundo tubo de goma se conectó el tubo Draeger con la jeringa.

4. Después de 30 minutos se insertó la aguja del aparato con tubo Draeger en un tapón. Se insertó una segunda aguja en uno de los otros tapones de la tapa, para permitir el flujo del aire hacia el espacio debajo de la tapa, durante el tiempo en que se realiza el muestreo del gas. La segunda aguja se insertó justo antes de que se muestreó el gas.
5. Por un lapso de 15 segundos, se jaló el mango de la jeringa hasta la lectura de 100 mL. Si la lectura era menor de 0,5%, se tomó, a través del mismo tubo Draeger, cuatro muestras adicionales de 100 mL del espacio bajo la tapa. Para hacer esto, se desconectó el tubo de la jeringa para sacar el aire y conectar nuevamente el tubo a la jeringa. Se tomó otra muestra de 100 mL (repetir el procedimiento).
6. Se registró la temperatura en Celsius al momento del muestreo. En el tubo de Draeger se leyó la columna =1, si se muestreo 100 mL, o la columna “n=5” si se muestreo 500 mL. El porcentaje de CO₂ está indicado por el máximo avance del color púrpura en el tubo Draeger. Se registró esa lectura.
7. Se sacó el termómetro, la aguja del aparato con tubo Draeger, la aguja para flujo de aire, y la tapa del anillo.

Cálculos

$$\text{Índice de respiración del suelo (kg CO}_2\text{-C/Ha/día)} = PF * TF * (\%CO_2 - 0,035) * 22,91 * h * 1,2$$

(Ecuación 12)

Índice estandarizado de respiración del suelo ($\text{kg CO}_2\text{-C/Ha/día}$)= Índice de respiración del suelo ($\text{kg CO}_2\text{-C/Ha/día}$) x FE

(Ecuación 13)

Donde:

PF: factor de presión =1

TF: factor de temperatura= $\frac{(\text{temperatura del suelo en Celsius})+273}{273}$

h: altura en parte interna del anillo

FE: factor de estandarización de la temperatura

Figura 40

Cámara de respiración



Nota. El termómetro fue colocado dentro del suelo adyacente a la cámara de respiración. Fuente: La investigación.

Figura 41

Medición de la respiración del suelo



Nota. Por un lapso de 15 segundos se jalo el mango de la jeringa obteniendo una medición de respiración del suelo. Fuente: La investigación.

4.2.4.6.2. Ensayo de Bioindicadores (Lombrices de Tierra)

Se midió una porción de terreno de 1 m^2 , y se cavó hasta una profundidad de 40 cm con una pala. Se trató de minimizar el número de cortes con la pala para evitar daño a las lombrices. Se estudió las muestras de suelo contra un fondo de color pálido para facilitar el reconocimiento de las lombrices. Se separó y se contó el número de lombrices. Finalmente se registró el número total de lombrices.

Figura 42
Excavación de unidades experimentales



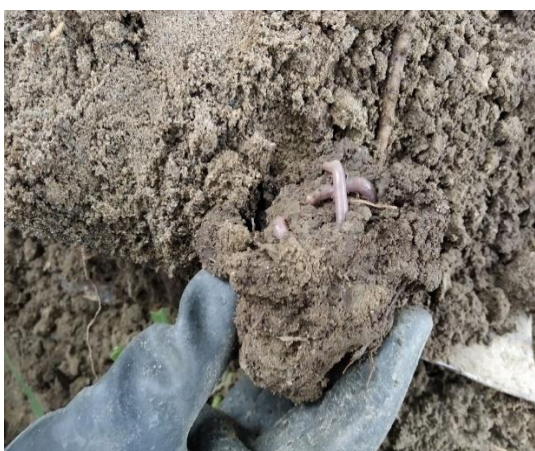
Nota. Se midió la parcela de 1 m² y se procedió a cavar hasta una profundidad de 40 cm. Fuente: La investigación.

Figura 43
Conteo de lombrices



Nota. Las lombrices encontradas fueras separadas y posteriormente contadas. Fuente: La investigación.

Figura 44
Lombrices encontradas en punto muestreado



Nota. Lombrices encontradas en una porción de suelo en la cobertura de cultivo punto 3. Fuente: La investigación.

Figura 45
Conteo de lombrices



Nota. Lombrices encontradas en la cobertura pastizal punto 1. Fuente: La investigación.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Densidad Poblacional de Lombrices de Tierra (*Lumbricus*)

Para la variable densidad poblacional de lombrices (lombrices/m²), como se puede observar en la Tabla 13, para el factor altitud se obtuvo diferencias altamente significativas y para el factor cobertura, como se observa en la Tabla 14, se obtuvieron diferencias significativas. Por el contrario, para la interacción de altitud y cobertura no se encontró diferencias significativas.

Tabla 13

Cuadro de separación de medias de la variable densidad poblacional de lombrices de tierra con respecto a la altitud

Altitud	Medias	Medias transformadas	n	E.E.	Rango
2	159	5,02	12	0,20	A
3	96,75	4,42	16	0,17	A B
4	64	3,83	16	0,17	B C
1	35,63	3,44	16	0,17	C

Nota. La tabla fue construida a partir de las medias, medias transformadas con logaritmo natural (Ln) y la separación de medias (prueba Tukey, 5% de significancia). Fuente: La investigación.

Tabla 14

Cuadro de separación de medias de la variable densidad poblacional de lombrices de tierra con respecto a la cobertura

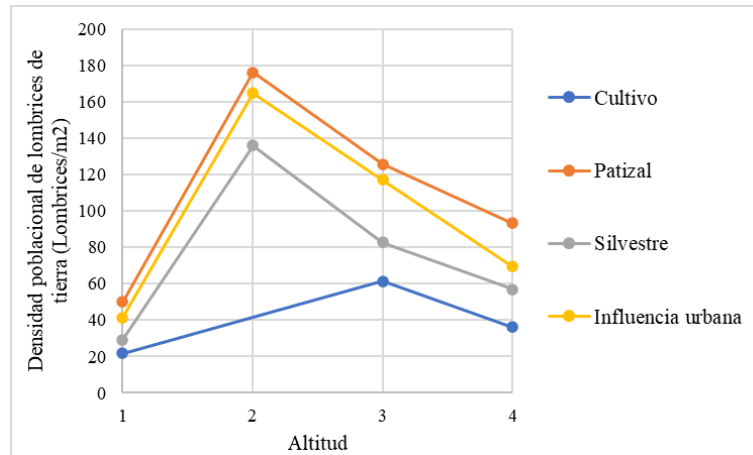
Cobertura	Medias	Medias transformadas	n	E.E.	Rango
P	111,31	4,55	16	0,17	A
U	98,25	4,42	16	0,17	A
S	76,25	4,09	16	0,17	A
C	39,75	3,20	12	0,20	B

Nota. La tabla fue construida a partir de las medias, medias transformadas con logaritmo natural (Ln) y la separación de medias (prueba Tukey, 5% de significancia). Fuente: La investigación.

En la Figura 46 se puede observar que no existe interacción entre los factores en estudio altitud y cobertura.

Figura 46

Interacción de la variable densidad poblacional de lombrices de tierra entre altitud y cobertura



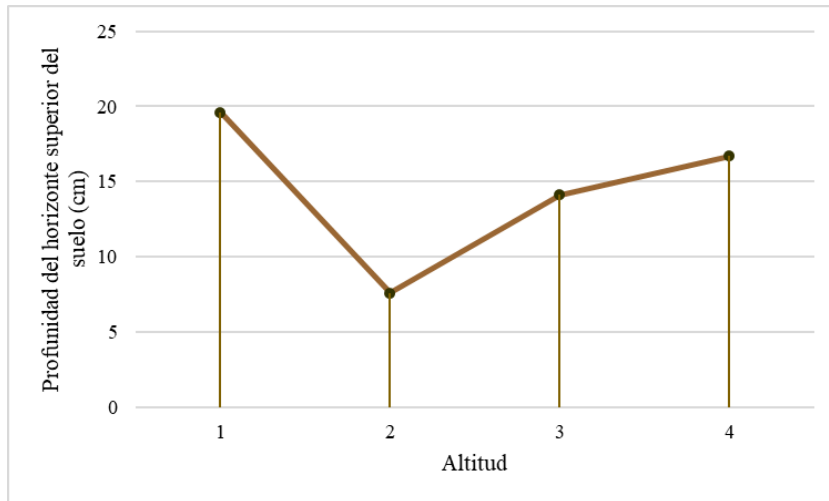
Nota. La gráfica fue construida a partir de la separación de medias (prueba de Tukey) de la interacción entre altitud y cobertura de la variable densidad poblacional de lombrices de tierra. Fuente: La investigación.

Las lombrices de tierra encontradas en los diferentes puntos de muestreo fueron categorizadas, según sus características físicas, en las tres principales clases ecológicas existentes: epígea, endógea y anécica.

La variación de la abundancia de lombrices en cada uno de los puntos difiere de la clase a la que pertenecen. Como se observa en la Figura 46, el mayor número de lombrices se presentó en el punto 2, donde la clase predominante es la epígea, Pffifner (2014), establece que las especies epígeas presentan altas tasas de reproducción, además afirma que habitan en suelos con poca profundidad del horizonte superior, debido a que se alimentan de desechos superficiales como heces de animales y hojarasca y no tienen función excavadora; lo descrito concuerda con los resultados obtenidos, ya que como se muestra en la Figura 47, el punto 2 presenta menor profundidad con respecto a los demás puntos.

Figura 47

Profundidad del horizonte superior del suelo en cada altitud



Nota. La gráfica indica la profundidad del horizonte superior del suelo promedio, que ha sido medida en cada uno de los puntos de muestreo en las diferentes altitudes. Fuente. La Investigación.

El menor número de lombrices se encontró en el punto 1, en donde destaca la clase anécica, además, como se observa en la Figura 47, la profundidad del suelo es mucho mayor que la de los otros puntos. Con ello, se corrobora lo planteado Pffifner (2014), quien afirma también que las tasas de reproducción de las anécicas son mucho menores que la de las epígeas, además su hábitat suele ser en suelos con mayores profundidades del horizonte superior, debido a que presenta una actividad mecánica alta y esto implica que realice excavaciones de amplias y profundas galerías subverticales.

Para los puntos 3 y 4 el grupo predominante es la endógea, cuya reproducción es menos limitada que la de las anécicas y habita en profundidades menores, Bourrut (2015), afirma que las lombrices de clase endógea se desarrollan sin inconveniente en suelos con menores profundidades respecto a las anécicas, debido a que realizan excavaciones de amplias galerías subhorizontales en lugar de subverticales.

Figura 48
Lombrices epígeas



Nota. Lombrices pertenecientes a la clase epígea, encontradas en todas las coberturas del punto 2. *Fuente:* La investigación.

Figura 49
Lombrices endógeas



Nota. Lombrices pertenecientes a la clase endógea, encontradas en todas las coberturas de los puntos 3 y 4. *Fuente:* La investigación.

Figura 50
Lombrices anécicas



Nota. Lombrices pertenecientes a la clase anécica, encontradas en todas las coberturas del punto 1. Fuente: La investigación.

Independientemente de las distintas clases de lombrices de tierra, las coberturas que presentan mayor número de lombrices en todos los puntos es la de pastizal, la cobertura con influencia urbana y la silvestre. López y Herrera (2017) afirman en su investigación que, tanto los lodos residuales del medio urbano, que resultan de las aguas servidas depositadas en el río a través del suelo, como el estiércol bovino presente en la cobertura de pastizal, contienen un alto porcentaje de materia orgánica, resultando ser uno de los mejores alimentos para las lombrices. Además, según Cabrera (2012), la nula influencia antrópica en zonas silvestres y la mineralización de la hojarasca presente en estos

puntos, lo cual da como resultado una mayor concentración de materia orgánica, conforman el medio propicio para el desarrollo de lombrices.

El menor número de lombrices se encontró en la cobertura de cultivo. De acuerdo a Ríos (2012), las prácticas agrícolas, tales como la labranza y el uso de químicos afecta las poblaciones de macroinvertebrados, principalmente lombrices.

5.2 Respiración del Suelo (kg CO₂- C/Ha/día)

Para la variable respiración del suelo, como se puede observar en la Tabla 15 y Tabla 16 y, existen diferencias significativas tanto para el factor altitud, como para el factor cobertura. Por otra parte, la interacción entre los factores en estudio altitud y cobertura no presentan diferencias significativas.

Tabla 15

Cuadro de separación de medias de la variable respiración del suelo con respecto a la altitud

Altitud	Medias	Medias transformadas	N	E.E.	Rango	
4	65,14	7,92	16	0,47	A	
1	52,12	6,99	16	0,47	A	B
3	45,7	6,33	16	0,47	A	B
2	34,93	5,65	12	0,55	B	

Nota. La tabla fue construida a partir de las medias, medias transformadas con logaritmo natural (Ln) y la separación de medias (prueba Tukey, 5% de significancia). Fuente: La Investigación.

Tabla 16

Cuadro de separación de medias de la variable respiración del suelo con respecto a la cobertura

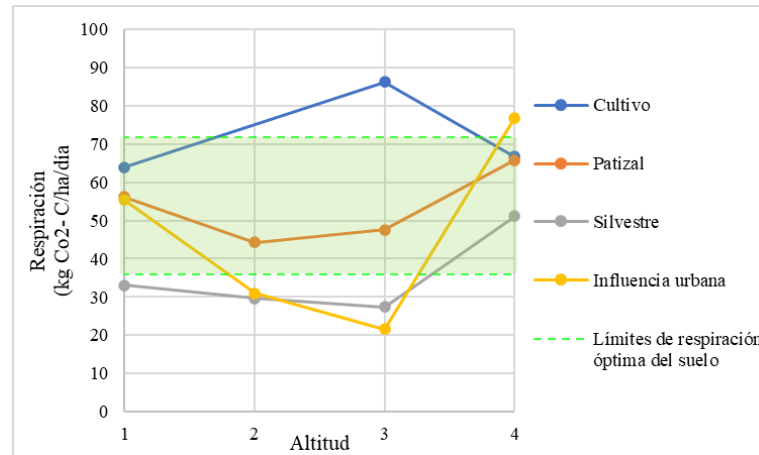
Cobertura	Medias	Medias transformadas	n	E.E.	Rango	
C	73,42	8,27	12	0,54	A	
P	66,11	6,99	16	0,46	A	B
U	50,35	6,50	16	0,46	A	B
S	46,98	5,78	16	0,46	B	

Nota. La tabla fue construida a partir de las medias, medias transformadas con logaritmo natural (Ln) y la separación de medias (prueba Tukey, 5% de significancia). Fuente: La investigación.

En la Figura 51 se puede observar que no existe una notable interacción entre los factores en estudio altitud y cobertura.

Figura 51

Interacción de la variable respiración del suelo entre los factores en estudio altitud y cobertura



Nota. La gráfica fue construida a partir de la separación de medias (prueba de Tukey) de la interacción de altitud y cobertura de la variable respiración de suelo. Además, indica los límites de respiración óptima del suelo según la USDA (1999). Fuente: La investigación.

Según la metodología que se está aplicando, el rango de respiración óptima del suelo (35,84-71,68 kg CO₂- C/Ha/día) refleja un estado ideal de actividad biológica, contenidos óptimos de materia orgánica y poblaciones de microorganismos activos. Como se observa en la Figura 51, el punto que está fuera del rango óptimo de respiración del suelo es el punto 2, sin embargo, la actividad del suelo es mediana, esto significa que se está aproximando a un estado ideal de actividad biológica (USDA, 1999), en este punto predomina la especie de lombrices epígea. Mientras que el punto 4, presenta el mejor índice de respiración, por otra parte, los puntos 1 y 3 no muestran una diferencia significativa, para estos 3 puntos la respiración se encuentra dentro del rango óptimo y las especies de lombrices predominantes son las endógeas y anécicas.

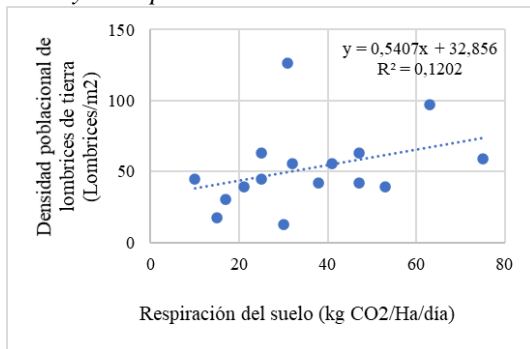
De acuerdo con Domínguez et al. (2009), las especies endógeas y anécicas tienen un mayor efecto sobre la descomposición de la materia orgánica que las especies epígeas, este factor se encuentra estrechamente relacionado con la respiración del suelo (Guerrero et al., 2012).

De la evaluación de la variable respiración del suelo con respecto a la variable densidad poblacional de lombrices, se obtuvo una correlación positiva moderada con un máximo valor del

coeficiente de correlación (r) igual a 0,65, es decir, en suelos con mayor índice de respiración, tiende a existir un mayor número de lombrices, sin embargo, no se trata de una influencia significativa, debido a que los valores del coeficiente de determinación (r^2) indican que solo el 42% del cambio observado en el número de lombrices depende de la respiración del suelo.

Figura 52

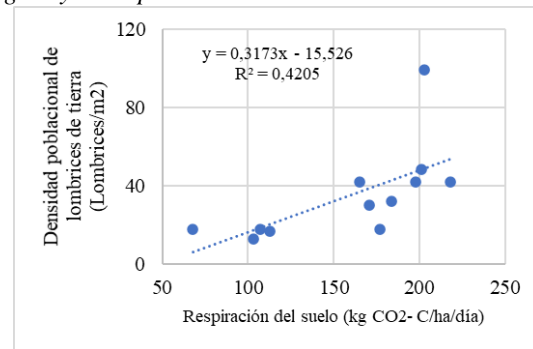
Relación entre la densidad poblacional de lombrices anécicas y la respiración del suelo



Nota. La gráfica indica la correlación positiva débil entre la densidad poblacional de lombrices de tierra anécicas presentes en el punto 1 y la respiración del suelo, con un valor de $r=0,35$. Fuente: La investigación.

Figura 53

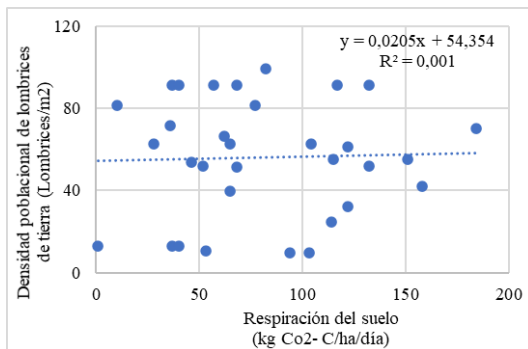
Relación entre la densidad poblacional de lombrices epígeas y la respiración del suelo



Nota. La gráfica indica la correlación positiva moderada entre la densidad poblacional de lombrices de tierra epígeas presentes en el punto 2 y la respiración del suelo, con un valor $r=0,65$. Fuente: La investigación.

Figura 54

Relación entre la densidad poblacional de lombrices endógeas y la respiración del suelo



Nota. La gráfica indica la correlación positiva muy débil entre la densidad poblacional de lombrices de tierra endógeas presentes en el punto 3 y 4 y la respiración del suelo, con un $r=0,03$. Fuente: La investigación.

Los resultados obtenidos difieren de lo descrito en la investigación de Schindler et al. (1997), quienes obtuvieron como resultado, una influencia significativa entre la densidad poblacional de lombrices de tierra y la respiración del suelo, sin embargo, señalan que la influencia fue estacional,

es decir, dependió de las condiciones ambientales y se vio afectada por modificaciones en el suministro de carbono, como es la alteración del suelo con fertilizantes orgánicos.

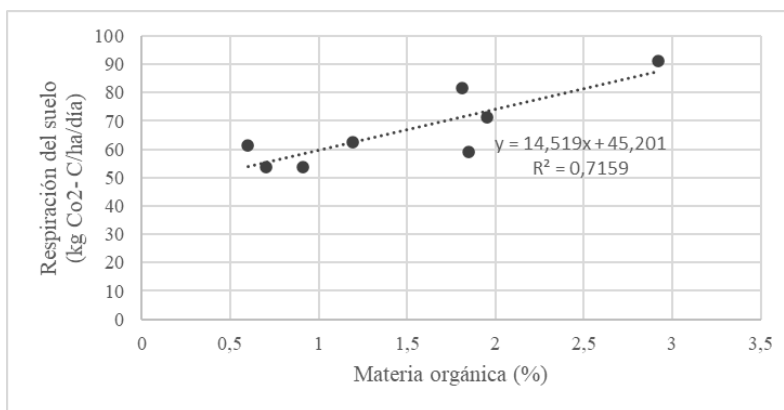
Por otra parte, se puede observar en la Tabla 16 que la cobertura de cultivo presenta una actividad del suelo inusualmente alta, ya que supera el límite de respiración ideal que es de 71,68 kg CO₂- C/Ha/día. Hendrix et al. (1988) afirman que las coberturas de suelo en las que predomina la actividad agrícola, tienden a tener un mayor índice de respiración debido a la alteración de la composición del suelo con la aplicación de materia orgánica fresca o abonos.

La cobertura de pastizal no es significativamente diferente a la cobertura de cultivo y a la cobertura con influencia urbana. De igual forma, la cobertura silvestre no representa diferencia significativa en comparación con la cobertura con influencia urbana. Todas estas coberturas se encuentran dentro de los límites óptimos de respiración del suelo (35,84-71,68 kg CO₂- C/Ha/día).

Para la validación de los datos, se ha determinado la relación entre la respiración del suelo y el análisis de materia orgánica obtenida en laboratorio. De los resultados obtenidos se evidenció una correlación positiva fuerte con un valor de $r=0,85$, mientras que el valor de r^2 indica que el 72% del cambio observado en respiración del suelo depende del contenido de materia orgánica. Los resultados obtenidos concuerdan con la investigación de Vásquez y Menjivar (2013), que establecen la existencia de una relación directa entre el contenido de materia orgánica y el flujo de salida de CO₂ de los suelos.

Figura 55

Relación entre materia orgánica y respiración del suelo



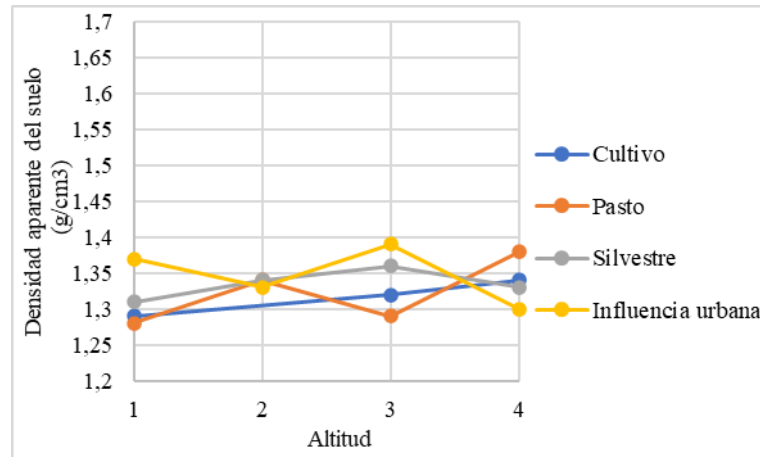
Nota. Los análisis en laboratorio para materia orgánica se realizaron únicamente para el punto 4. La relación entre respiración del suelo y la materia orgánica presenta una correlación positiva fuerte con un valor $r=0,85$. Fuente: La investigación.

5.3 Densidad Aparente (g/cm^3), Textura y Estructura del Suelo.

La densidad aparente se encuentra directamente relacionada con la textura y la estructura del suelo (Rubio, 2010), es por ello que se analizaron conjuntamente estas tres variables. En cuanto al análisis de densidad aparente, los factores en estudio altitud y cobertura no presentaron significancia estadística, sin embargo, si se encontró diferencias significativas entre la interacción de altitud y cobertura, tal como se muestra en la Figura 56. La textura predominante fue franco arenoso y franco limoso, además, los suelos analizados se encontraron en su mayoría regularmente estructurados.

Figura 56

Interacción de la variable densidad del suelo entre los factores en estudio altitud y cobertura

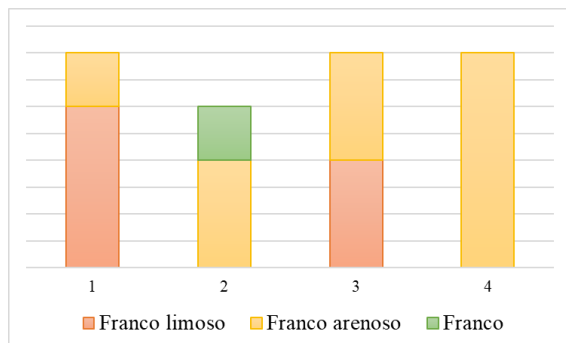


Nota. La gráfica fue construida a partir de la separación de medias (prueba de Tukey) de la interacción entre altitud y cobertura de la variable densidad aparente del suelo. Fuente: La investigación.

Estadísticamente se demuestra que no existe diferencia en las texturas de suelo analizadas en todos los puntos, esto, debido a que, como se muestra en la Figura 57 y Figura 58, la textura predominante fue franco arenoso y franco limoso. Lo mencionado concuerda con Ibáñez (2007), quien resalta que, este tipo de texturas se encuentran dentro de un rango de densidad aparente de 1,24-1,54 g/cm³.

Figura 57

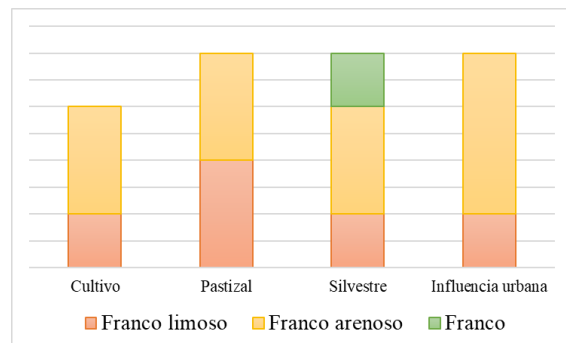
Textura del suelo en las diferentes altitudes



Nota. La gráfica indica las texturas predominantes en los 4 puntos de muestreo, siendo la mayormente predominante la textura franco limoso, excluyendo al punto 2, en donde predomina la textura franco arenoso. Fuente: La investigación.

Figura 58

Textura del suelo en las coberturas

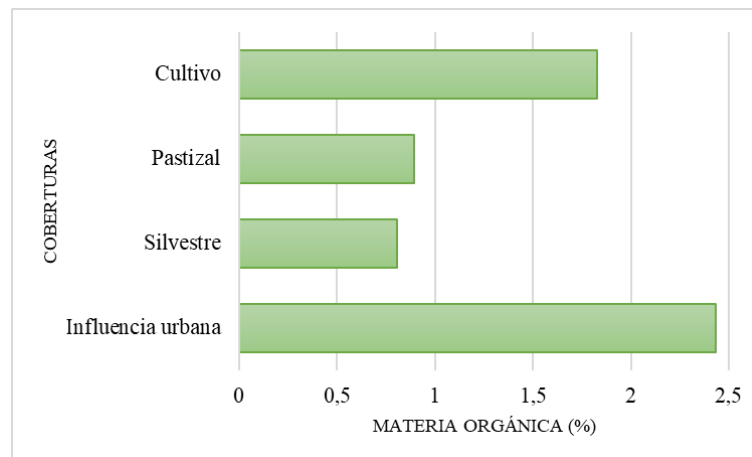


Nota. La gráfica indica las texturas predominantes en las 4 coberturas, siendo las mayormente predominantes las texturas franco limoso y arenoso. Fuente: La investigación.

En la presente investigación las texturas del suelo analizadas (franco, franco limoso y franco arenoso), entran en la clasificación de ‘textura gruesa’ según los rangos establecidos en la investigación de Rubio (2010); quien, además resalta que, los suelos de textura gruesa, con bajos contenidos de materia orgánica y poco o regularmente estructurados, presentan valores bajos de densidad aparentes entre 1,00-1,50 g/cm³.

Figura 59

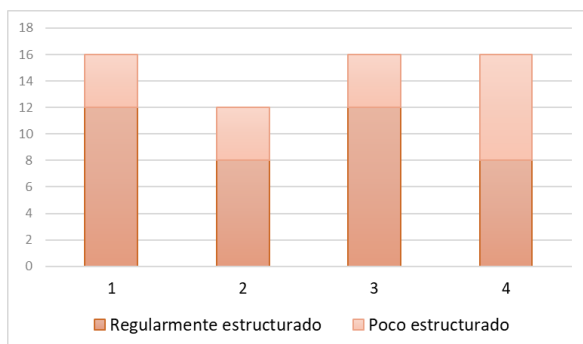
Contenido de materia orgánica (%) en el suelo



Nota. La gráfica representa el porcentaje de materia orgánica obtenida del análisis de laboratorio de las muestras de suelo de las coberturas del punto 4. Fuente: La investigación.

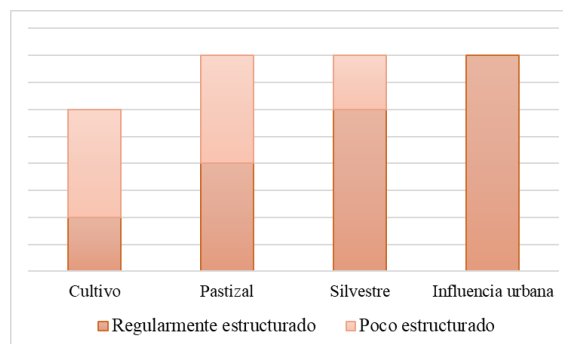
Se puede observar en la Figura 59 que el contenido de materia orgánica del suelo analizado oscila entre 0,81-2,44% y de acuerdo a la investigación realizada por Castillo (2005), este rango representa un contenido pobre de materia orgánica en los suelos. Además, como se muestra en la Figura 59, el suelo presente en todos los puntos está regularmente o poco estructurado

Figura 60
Estructura del suelo en las diferentes altitudes



Nota. La gráfica describe el tipo de estructura existente en cada punto de muestreo, mismo que se ha determinado a partir del análisis cualitativo de obtención del índice de estructura del suelo. En todos los puntos predominan suelo regularmente estructurados. Fuente: La investigación.

Figura 61
Estructura del suelo en distintas coberturas

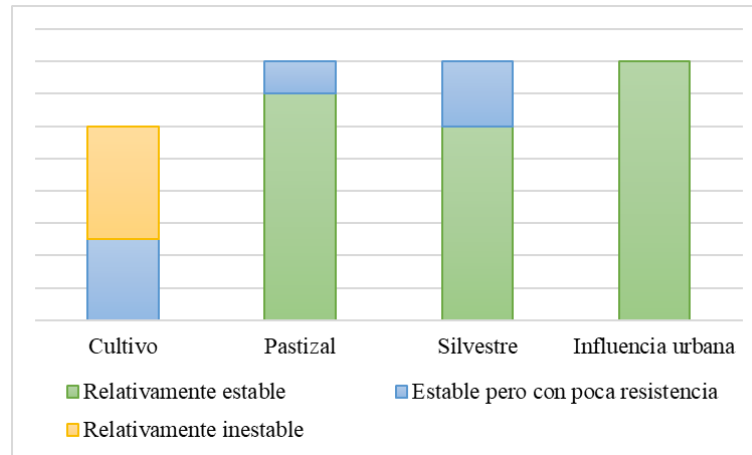


Nota. La gráfica describe el tipo de estructura existente en cada cobertura muestreada, mismo que se ha determinado a partir del análisis cualitativo de obtención del índice de estructura del suelo. En todos los puntos predominan suelo regularmente estructurados. Fuente: La investigación.

Adicional a la textura, existen factores externos que inciden en la estructura del suelo, principalmente el uso que se le da a este recurso (USDA, 1999), es por ello, que tal como se observa en la Figura 61, en la cobertura de cultivo predomina una estructura deficiente (poco estructurado). De acuerdo a Hernández et al. (2017), uno de los factores externos que alteran la estructura del suelo son las prácticas de agricultura, principalmente el laboreo en condiciones de extrema humedad o sequía (Brea, 2015), mismo que influye en la aceleración de los procesos de erosión y mineralización del suelo, por ende, contribuye a la pérdida de la estructura inicial de este recurso.

Figura 62

Desleimiento del suelo en las diferentes coberturas analizadas



Nota. La gráfica describe la estabilidad y resistencia de los suelos de las diferentes coberturas, esta categorización se aplicó a partir de los índices de desleimiento obtenidos en un ensayo cualitativo. Fuente: La investigación.

El ensayo de desleimiento indicó que la cobertura de cultivo presenta en su mayoría una estructura relativamente inestable, tal como se muestra en la Figura 62. Esto concuerda con Fernández (2004), quien afirma que los suelos sujetos a prácticas agrícolas presentan mayor riesgo a degradación física, por ende, presentan una mayor inestabilidad estructural en comparación con otros tipos de cobertura cuya textura sea similar. La cobertura con influencia urbana, la cobertura de pastizal y la silvestre, muestran una mejor estabilidad y resistencia del suelo.

Según varias investigaciones realizadas en zonas aledañas a los puntos de muestreo de la presente investigación, las texturas de los suelos difieren a las obtenidas en este estudio, tal como se muestra en la Tabla 17, debido a que, a pesar de estar próximas al sitio de estudio, están alejadas del río y tal como mencionan Schargel et al. (2001) en su investigación, en los suelos ubicados en las riberas de los ríos predominan las texturas arenosas.

Tabla 17*Texturas del suelo en diferentes localidades del cantón Loja*

Localidad	Altitud	Textura suelo	Fuente
La Argelia	2135	Franco arcilloso	Ayerve y Yaguachi, (2010)
Chuquiribamba	2700	Franco y franco arcilloso	Aguirre (2017)
La Argelia	2100	Franco limoso, franco arcilloso, franco	Armijos y Orgoñez (2011)

Nota. Fuente: La investigación

Con la finalidad de definir la precisión de la metodología de medición *in situ* de textura, se comparó los resultados con datos obtenidos en laboratorio, obteniendo así resultados acertados, tal como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18*Clases texturales del suelo obtenidas in situ y en laboratorio*

Código de muestra	Clase textural laboratorio	Clase textural <i>in situ</i>
P4CR1	Franco arenoso	Franco arenoso
P4CR2	Franco arenoso	Franco arenoso
P4PR1	Franco arenoso	Franco arenoso
P4PR2	Franco arenoso	Franco arenoso
P4SR1	Franco arenoso	Franco arenoso
P4SR2	Franco	Franco arenoso
P4UR1	Franco arenoso	Franco arenoso
P4UR2	Franco arenoso	Franco arenoso

Nota. Se analizó en laboratorio la clase textural de todas las coberturas del punto 4. Fuente: La investigación.

5.4 Infiltración (cm/h) y Porosidad (%)

Para la variable infiltración, como se puede observar en la Tabla 19, existen diferencias altamente significativas para el factor altitud, mientras que en la Tabla 20 se evidencia que, para el factor cobertura, se encontró diferencias significativas. Por otra parte, la interacción que ejerce la altitud y cobertura es altamente significativa. Además, cabe mencionar que este parámetro es afectado por el contenido de agua inicial y está directamente relacionado con la porosidad (USDA, 1999).

Tabla 19

Cuadro de separación de medias de la variable infiltración del suelo con respecto a la cobertura

Altitud	Medias	Medias transformadas	n	E.E.	Rango
2	90,49	4,35	12	0,18	A
1	51,05	3,33	16	0,15	B
4	28,96	2,93	16	0,15	B
3	16,11	2,24	16	0,15	C

Nota. La tabla fue construida a partir de las medias, medias transformadas con logaritmo natural (Ln) y la separación de medias (prueba Tukey, 5% de significancia). Fuente: La investigación.

Tabla 20

Cuadro de separación de medias de la variable infiltración del suelo con respecto a la cobertura

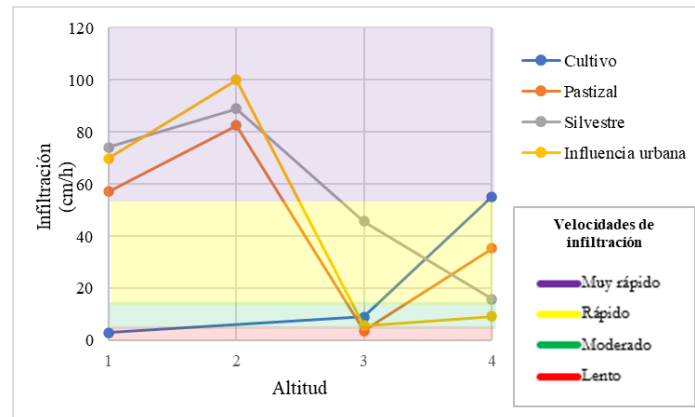
Cobertura	Medias	Medias transformadas	n	E.E.	Rango
S	56,16	3,67	16	0,15	A
P	46,24	3,20	16	0,15	A
U	44,71	3,12	16	0,15	A
C	22,5	2,36	12	0,18	B

Nota. La tabla fue construida a partir de las medias, medias transformadas con logaritmo natural (Ln) y la separación de medias (prueba Tukey, 5% de significancia). Fuente: La investigación.

En la Figura 63 se puede observar la existencia de interacciones entre los factores en estudio altitud y cobertura.

Figura 63

Interacción de la variable infiltración entre los factores en estudio altitud y cobertura

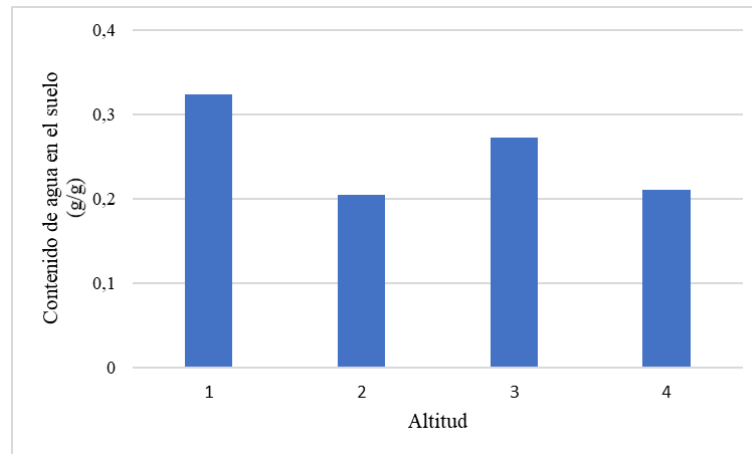


Nota. La gráfica fue construida a partir de la separación de medias (prueba de Tukey) de la interacción entre altitud y cobertura de la variable infiltración, Además indica los rangos de velocidades de infiltración establecidos según la USDA (1999) Fuente: La investigación.

El punto 2 presenta una velocidad de infiltración muy rápida debido a que, como se muestra en la Figura 64, este punto presenta el menor contenido de agua inicial. El punto 3 presenta una velocidad de infiltración moderada y su contenido inicial de agua es mayor al del punto 2.

Figura 64

Contenido de agua en el suelo (g/g) en las diferentes altitudes



Nota. La gráfica indica el contenido de agua inicial del suelo, es decir previo al ensayo de infiltración. Los valores oscilan entre 0,2 y 0,32 g/g. Fuente: La investigación.

La velocidad de infiltración del punto 1 es moderada y muy rápida, a pesar de que presenta el mayor contenido inicial de agua. Fischer et al. (2014), en su investigación, afirman que los índices elevados de infiltración son atribuibles a la presencia de lombrices y raíces. Esto concuerda con los resultados obtenidos en la presente investigación, debido a que a la especie de lombriz predominante en el punto 1 es la anécica. Según Bourrut, (2015), los suelos en donde predomina dicha clase, presentan mejores niveles de infiltración, debido a que estas especies presentan una actividad mecánica intensa que contribuye a la formación de macroporos y canales, permitiendo así una fácil infiltración de agua.

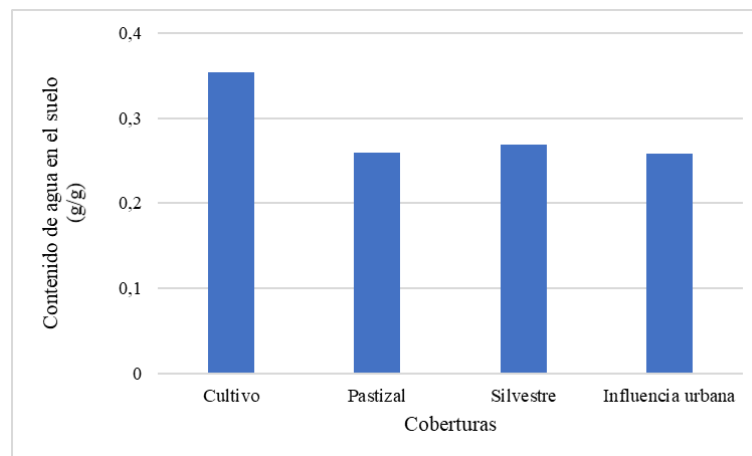
No existe diferencia significativa entre el punto 4 y 3, en donde la clase de lombriz predominante es la endógea, según Bourrut (2015), esta clase de lombriz presenta una actividad mecánica también intensa, sin embargo, Lavelle et al. (1999) aseveran en su investigación, que la

actividad de las lombrices endógeas al ser lateral, incrementan la proporción de agregados a niveles más superficiales que las anécicas, además, como se muestra en la Figura 64, su contenido de agua es mayor al punto 2.

Como se observa en la Tabla 20, la cobertura silvestre, pastizal y con influencia urbana no muestran diferencias significativas y además presentan un mayor índice de infiltración que la cobertura de cultivo, esto se relaciona con lo afirmado por Maestre et al. (2012), quienes establecieron que la variedad de especies vegetales en suelos silvestres, como la variedad de especies de pastos presentes en los suelos con influencia urbana y pastizal, representan un factor clave en la regulación de infiltración. Como se muestra en la Figura 65, estas tres coberturas presentan un contenido inicial de agua similar.

Figura 65

Contenido de agua en el suelo (g/g) en las diferentes coberturas



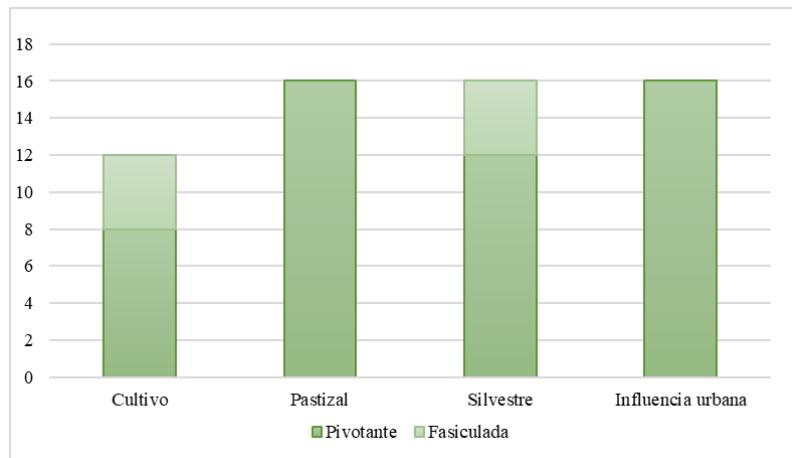
Nota. La gráfica indica el contenido de agua inicial del suelo en las diferentes coberturas analizadas, es decir previo al ensayo de infiltración. Los valores oscilan entre 0,25 y 0,35 g/g. Fuente: La investigación.

Se identificó también que, en las coberturas silvestre, pastizal y con influencia urbana, el tipo de raíz predominante es la pivotante, tal como se muestra en la Figura 66. Whalley et al. (2004), han determinado que este tipo de raíces tiene un efecto descompactador en el suelo, debido a su crecimiento vertical y ramificaciones laterales. Además, Torres et al. (2013) añaden que las malezas

silvestres favorecen cambios estructurales del suelo debido a que contribuyen a la conectividad y reordenamiento de macroporos.

Figura 66

Tipo de raíces predominantes en coberturas del suelo

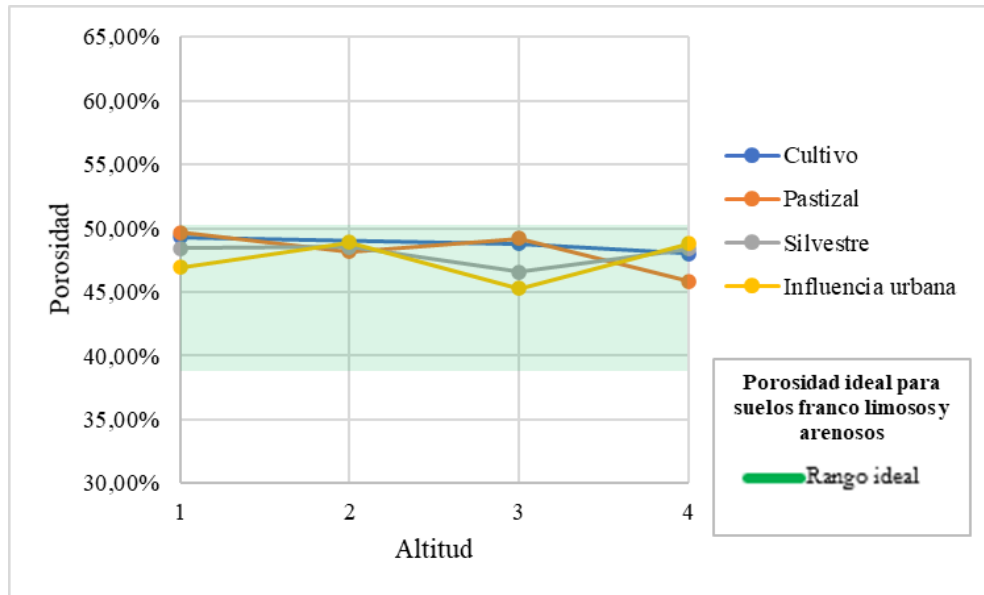


Nota. La gráfica indica el tipo de raíz predominante en cada uno de las coberturas, siendo la raíz pivotante la que existe en mayor número en todas las coberturas. Fuente: La investigación.

Por otra parte, como se muestra en la Tabla 20, la cobertura de cultivo presenta el menor índice de infiltración. Gómez et al. (2018), resaltan que la actividad agrícola como la labranza del suelo, en un inicio mejora la infiltración, sin embargo, al romper los agregados del suelo uniformemente, contribuye a la degradación del suelo, provocando que con el pasar del tiempo se reduzcan las velocidades de infiltración, además, esta cobertura presenta un mayor contenido inicial de agua con respecto a las demás coberturas, tal como se muestra en la Figura 66. La cobertura con influencia urbana y la cobertura de pastizal, no muestra diferencias significativas, además tienen un mismo contenido inicial de agua.

Figura 67

Porosidad del suelo en las coberturas de los diferentes puntos de muestreo

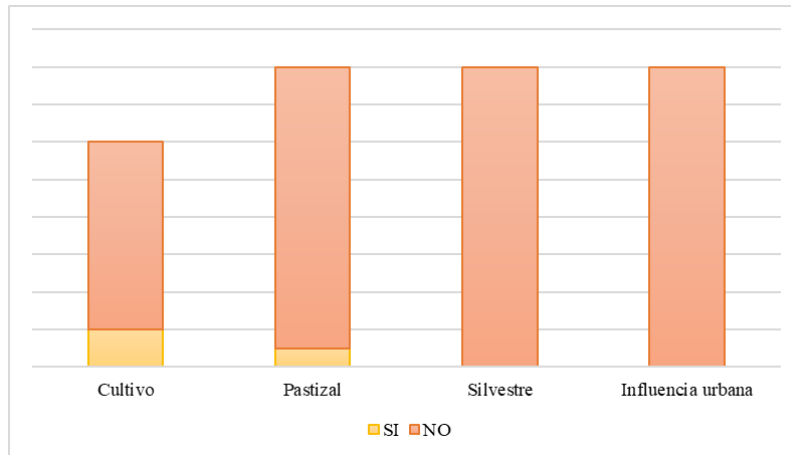


Nota. La gráfica indica el porcentaje de porosidad registrado en cada cobertura de cada punto, la gráfica fue construida a partir de los promedios de la porosidad en cada cobertura. Fuente: La investigación.

La infiltración del suelo está estrechamente relacionada con la porosidad (USDA, 1999), siendo estos dos factores indicadores de la compactación del suelo. Castillo (2005), menciona que suelos arenosos tienen un 40% de porosidad y suelos francos alcanzan un 50%, esto se puede corroborar con los resultados obtenidos en esta investigación, dado que estos se encuentran en los rangos establecidos, adicional, cabe mencionar que, tal como se muestra en la Figura 67, las densidades aparentes del suelo se encuentran dentro de los rangos óptimos para suelos con texturas franco, franco arenoso y franco limoso, comprobando así, que la mayor parte de los suelos analizados en cada cobertura no están compactados, tal como se estableció en el ensayo de compactación.

Figura 68

Presencia de suelos compactados en cada una de las coberturas de estudio



Nota. La gráfica indica si los suelos de cada cobertura se encontraban o no compactados al momento del ensayo mediante un método cualitativo de determinación de compactación. Fuente: La investigación.

Sin embargo, puede notarse en la Figura 68, que la cobertura de cultivo si presenta indicios de compactación, es así que, analizando el índice de porosidad, se puede observar en la Figura 67 que este está entre 48-50%, a pesar de que la textura predominante es franco arenoso. Batey (2009), argumenta en su investigación, que existe la presencia de suelos compactos en las zonas de cultivo debido a la maquinaria de labranza, además, Medina, (2016) establece que el sobrepastoreo (cobertura pastizal) es un factor que también interviene en la compactación de los suelos.

5.5 Nitratos en el Suelo ($\text{Kg NO}_3\text{-N /Ha}$)

Para la concentración de nitratos en el suelo, como se puede observar en la Tabla 21 y Tabla 22, tanto el factor altitud como el factor cobertura presentan diferencias significativas. De igual forma la interacción ente altitud y cobertura presenta diferencias significativas.

Tabla 21
Cuadro de separación de medias de la variable nitratos en el suelo con respecto a la altitud

Altitud	Medias	n	E.E.	Rango	
3	150,45	16	28,16	A	
2	128,19	12	32,51	A	B
4	65,03	16	28,16	A	B
1	28,95	16	28,16	B	

Nota. La tabla fue construida a partir de la separación de medias (prueba Tukey, 5% de significancia). Fuente: La investigación.

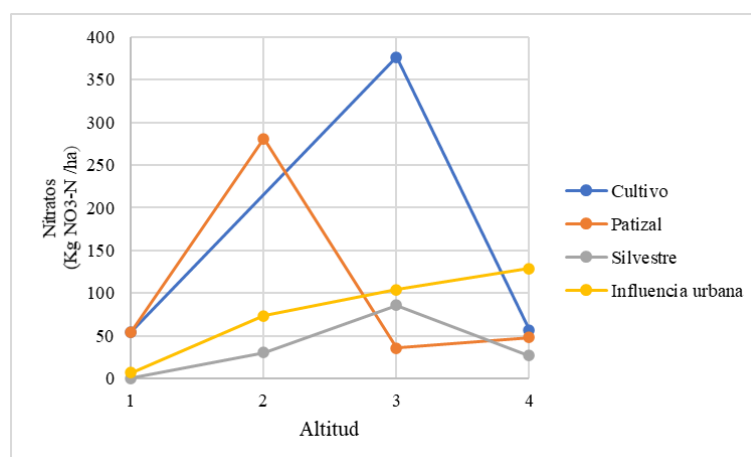
Tabla 22
Cuadro de separación de medias de la variable nitratos en el suelo con respecto a la cobertura

Cobertura	Medias	n	E.E.	Rango	
C	162,71	12	32,51	A	
P	104,74	16	28,16	A	B
U	78,11	16	28,16	A	B
S	35,68	16	28,16	B	

Nota. La tabla fue construida a partir de la separación de medias (prueba Tukey, 5% de significancia). Fuente: La Investigación.

En la Figura 69 se puede observar la existencia de interacciones entre los factores en estudio altitud y cobertura.

Figura 69
Interacción de la variable nitratos en el suelo entre los factores en estudio altitud y cobertura



Nota. La gráfica fue construida a partir de la separación de medias (prueba de Tukey) de la interacción entre altitud y cobertura de la variable nitratos. Fuente: La investigación.

Existe una notable variación de la concentración de nitratos con respecto a la altitud y cobertura. García y Daverede (2008) resaltan que estas variaciones ocurren, dependiendo de las condiciones edafo-climáticas.

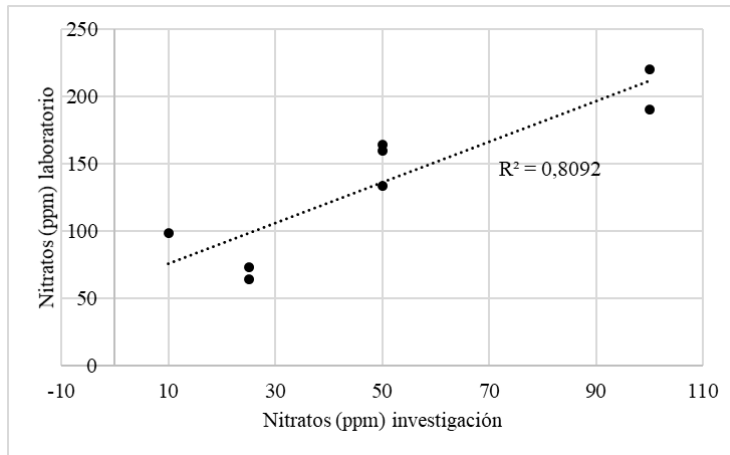
La altitud con mayor concentración de nitrógeno es la del punto 3. Los puntos 2 y 4 no presentan diferencia significativa, mientras que el punto 1, presenta la menor concentración de nitratos en el suelo.

La cobertura con una mayor concentración de nitratos fue la de cultivo. Calvache (2016) establece que en los suelos de cultivo, los nitratos son depositados mediante fertilizantes directamente sobre el suelo, es por ello que tienen a presentar una mayor concentración con respecto a otras coberturas.

La cobertura de pastizal y la cobertura con influencia urbana no presentaron una diferencia significativa, pero presentaron concentraciones superiores a la cobertura de silvestre. Zari y Bayron (2014), identificaron que la principal fuente de nitrógeno en el suelo es la materia orgánica, de la cual se forma los nitratos. Cabe recalcar que en la cobertura de pastizal y en la cobertura con influencia urbana existe estiércol y aguas servidas, que contribuyen a una mayor concentración de materia orgánica con respecto a la cobertura silvestre.

Con la finalidad de validar los datos obtenidos en la presente investigación, se realizó análisis de laboratorio para verificar su precisión.

Figura 70
Correlación de datos de nitratos (ppm) en el suelo



Nota. La gráfica representa la correlación de los datos de concentración de nitratos en el suelo (ppm) obtenidos en laboratorio (puntos 4) y los datos *in situ* obtenidos en la presente investigación. Fuente: La investigación.

Se obtuvo una correlación positiva muy fuerte entre los datos tomado *in situ* y los conseguidos en el laboratorio, con un valor de $r = 0,90$.

5.6 pH del Suelo

Para la variable pH, como se puede observar en la Tabla 23, el factor en estudio altitud muestra diferencias altamente significativas, mientras que en la Tabla 24 se evidencia que, para el factor cobertura, no existen diferencias significativas. Por otra parte, la interacción de altitud y cobertura muestra diferencias altamente significativas.

Tabla 23
Cuadro de separación de medias de la variable pH del suelo con respecto a la altitud

Altitud	Medias	n	E.E.	Rango
1	6,33	16	0,1	A
2	7,29	12	0,12	B
4	7,36	16	0,1	B
3	8,25	16	0,1	C

Nota. La tabla fue construida a partir de la separación de medias (prueba Tukey, 5% de significancia). Fuente: La investigación.

Tabla 24
Cuadro de separación de medias de la variable pH del suelo con respecto a la cobertura

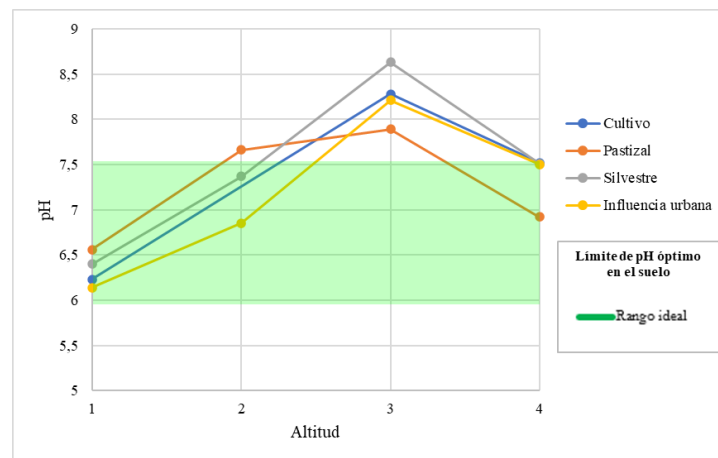
Cobertura	Medias	n	E.E.	Rango
U	7,17	16	0,1	A
P	7,26	16	0,1	A
C	7,34	12	0,12	A
S	7,48	16	0,1	A

Nota. La tabla fue construida a partir de la separación de medias (prueba Tukey, 5% de significancia). Fuente: La investigación.

En la Figura 71 se puede observar la existencia de interacciones entre los factores en estudio altitud y cobertura.

Figura 71

Interacción de la variable pH del suelo entre los factores en estudio altitud y cobertura



Nota. La gráfica fue construida a partir de la separación de medias (prueba de Tukey) de la interacción entre altitud y cobertura de la variable pH. Además, indica los límites del pH óptimo de suelo según la USDA (1999). Fuente: La investigación.

La tendencia del pH en cada punto es la misma para todas las coberturas, es así que todas las coberturas del punto 1 poseen un pH ligeramente ácido, las coberturas del punto 2 presentan un pH neutro, las coberturas del punto 3 poseen un pH alcalino y finalmente las coberturas del punto 4 muestran un pH neutro. Como se observa en la Figura 71, únicamente el punto 3 se encuentra fuera de los límites óptimos de pH (6-7,5).

De acuerdo a Jicong et al. (2005), las especies pertenecientes a la clase epígea, se reproducen mejor en un pH entre 6,5-8,6; lo cual concuerda con la presente investigación, debido a que el punto 2, en donde predomina esta clase, presenta pH dentro de este rango.

Mientras que Richard y Nathan (2011), identificaron que las especies pertenecientes a la clase anécica, se desarrollan mejor en un medio con un pH oscilante ente 6-7; esto concuerda con la

investigación, debido a que en el punto 1, en donde predomina la clase de lombriz anécica, el pH se encuentra dentro del límite establecido en la literatura.

Por otra parte, Samaranayake y Wijekoon (2010), establecen que las especies de lombrices de tierra pertenecientes a la clase endógea se desarrollan idealmente en un pH entre 6-8, esto difiere en parte con los resultados obtenidos en la presente investigación. La clase endógea predomina en los puntos 3 y 4, sin embargo, el punto 3 se excede ligeramente del parámetro establecido, mientras que el punto 4 se encuentra dentro de los rangos establecidos. Sin embargo, Leveque et al. (2014) han determinado que los suelos con mayor densidad poblacional de especies de lombrices endógeas, presentan un incremento significativo del pH en el suelo, que coincide con la investigación, debido a que en el punto 3, el pH al igual que la densidad poblacional de lombrices es mayor que en el punto 4.

Según datos recopilados de diferentes fuentes de investigación en lugares aledaños al sitio de estudio, el pH para las zonas de cultivo se muestra también dentro de los rangos óptimos, sin embargo, tienden a ser ligeramente ácidos.

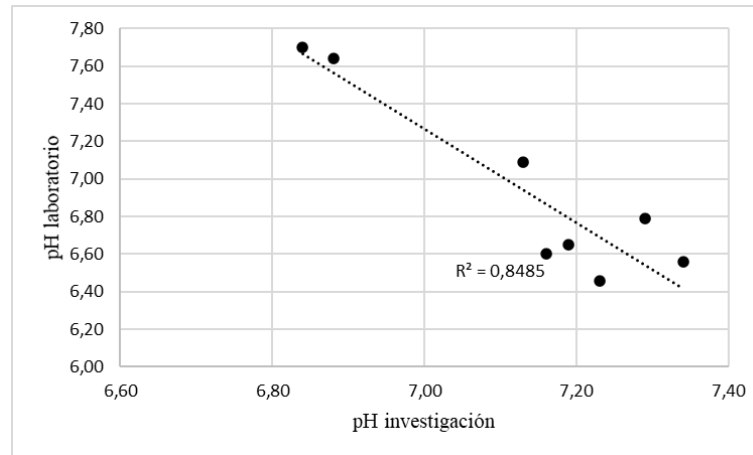
Tabla 25
pH del suelo en diferentes localidades del cantón Loja

Ph	Localidad	Altitud	Cobertura	Fuente
6,6	Sector los Molinos	2135	Cultivo	Ayerve y Yaguachi (2010)
6,7	La Argelia	2100	Cultivo	Walter (2014)
6,0	La Argelia	2000	Cultivo	Naula (2006)

Se validó los datos obtenidos en campo con datos obtenidos en el laboratorio, con la finalidad de determinar la precisión de los resultados.

Figura 72

Correlación entre de los datos de pH del suelo



Nota. La gráfica describe la relación entre los datos tomados en campo y los de laboratorio. Los análisis en laboratorio de medición de pH se realizaron únicamente para el punto 4. Fuente: La investigación.

Se obtuvo una correlación negativa muy fuerte entre los datos tomado *in situ* y los conseguidos en el laboratorio, con un valor de $r = 0,92$.

5.7 Conductividad Eléctrica del Suelo (ds/m)

Para la variable CE, como se puede observar en la Tabla 26 y

Tabla 27, existen diferencias significativas tanto para el factor altitud como para el factor cobertura. Así mismo, la interacción de altitud y cobertura presenta diferencias altamente significativas.

Tabla 26

Cuadro de separación de medias de la variable CE del suelo con respecto a la altitud

Altitud	Medias	Medias transformadas	n	E.E.	Rango
4	0,07	-3,06	16	0,13	A
3	0,08	-2,88	16	0,13	A B
2	0,09	-2,56	16	0,13	A B
1	0,03	-2,43	12	0,16	B

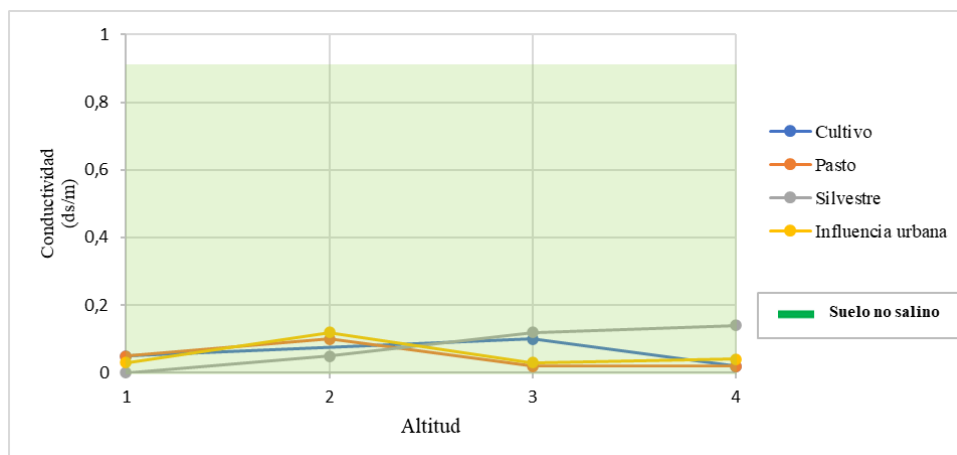
Nota. La tabla fue construida a partir de las medias, medias transformadas con logaritmo natural (Ln) y la separación de medias (prueba Tukey, 5% de significancia). Fuente: La investigación.

Tabla 27*Cuadro de separación de medias de la variable CE del suelo con respecto a la cobertura*

Cobertura	Medias	Medias transformadas	n	E.E.	Rango
P	0,05	-3,42	16	0,14	A
U	0,05	-3,17	16	0,14	A B
C	0,1	-2,71	12	0,16	B
S	0,08	-1,67	12	0,37	C

Nota. La tabla fue construida a partir de las medias, medias transformadas con logaritmo natural (Ln) y la separación de medias (prueba Tukey, 5% de significancia). Fuente: La investigación.

En la Figura 73 se puede observar que existe interacciones entre los factores en estudio altitud y cobertura.

Figura 73*Interacción de la variable CE del suelo entre los factores en estudio altitud y cobertura*

Nota. La gráfica fue construida a partir de la separación de medias (prueba de Tukey) de la interacción entre altitud y cobertura de la variable conductividad. Además, indica los límites suelo no salino según la USDA, (1999). Fuente: La investigación.

El comportamiento de salinidad del suelo varía dependiendo de la altitud y cobertura, sin embargo, como se observa en la Figura 73, todos los valores indican que el suelo de estudio es no salino, tanto en las diferentes alturas como coberturas; esto se le atribuye a la existencia de suelos inceptisoles y entisoles en la zona de estudio (Municipio de Loja, 2014), los cuales, según bibliografía no presentan horizontes sálicos (Ibáñez et al., 2010).

Mamani et al. (2012), mencionan que para las especies de lombrices pertenecientes a la clase epígea, las cuales son la clase más sensible a cambios físicos-químicos del suelo, la conductividad eléctrica debe ser menor a 2 dS/m para asegurar su supervivencia. En todos los puntos, la conductividad se encuentra por debajo de este rango.

Para cobertura, existen diferencias significativas, como se observa en la Tabla 27, la cobertura de cultivo presenta una media de conductividad mayor con respecto a las demás coberturas. Lamz y González (2013), sugieren que los valores de CE pueden ser mayores en las coberturas de cultivo, debido a que prácticas agrícolas como el riego permiten la filtración de sales dentro de los suelos. Además, Courel (2019), establece que el riego puede ocasionar el ascenso de capas freáticas salinas, al igual que el uso de fertilizantes o los cambios bruscos de suelo como los desmontes.

Al analizar los datos obtenidos en zonas aledañas al sitio de muestreo de la presente investigación, como se observa en la Tabla 28, los suelos en coberturas de cultivo presentan valores elevados de CE, demostrando que los suelos se encuentran en rangos de ligera y moderadamente salinos según lo establecido por la USDA (1999). Estos datos no concuerdan con los rangos obtenidos en las coberturas de cultivo de la presente investigación, debido a que, a pesar de tratarse de suelos inceptisoles y entisoles, estas zonas aledañas a los puntos de muestreo presentan actividad agrícola intensa (Municipio de Loja, 2014) y el contenido de sales se ve modificado por las prácticas de riego y aplicación de fertilizantes (Lamz y González, 2013).

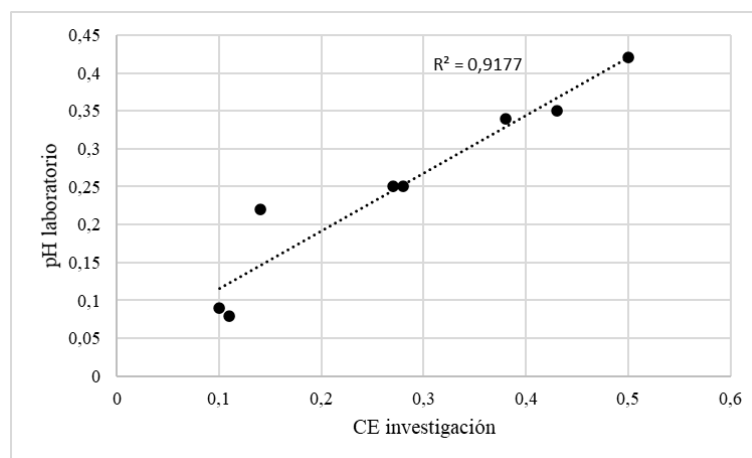
Tabla 28
Conductividad del suelo en diferentes localidades del cantón Loja

CE	Localidad	Altitud	Cobertura	Fuente
0,83	San Vicente	2700	Cultivo	Aguirre (2017)
3,64	La Argelia	2100	Cultivo	Walter (2014)
2,97	La Argelia	2000	Cultivo	Naula (2006)

Para validar los datos, se comparó los resultados obtenidos en campo con datos de análisis de laboratorio, con la finalidad de definir la precisión de medición *in situ* de CE.

Figura 74

Correlación entre de los datos de conductividad del suelo



Nota. La gráfica describe la relación entre los datos tomados en campo y los de laboratorio. Los análisis en laboratorio de medición de conductividad se realizaron únicamente para el punto 4. Fuente: La investigación.

Se obtuvo una correlación positiva muy fuerte entre los datos tomados *in situ* y los conseguidos en el laboratorio, con un valor de $r = 0,96$.

5.8 Análisis de Calidad del Agua

Los tres parámetros químicos medidos en las aguas del río adyacente a los puntos de muestreo fueron: conductividad, nitratos y nitritos, todas las variables analizadas presentaron alta significancia estadística en las diferentes altitudes, tal como se muestra en la Tabla 29.

Tabla 29

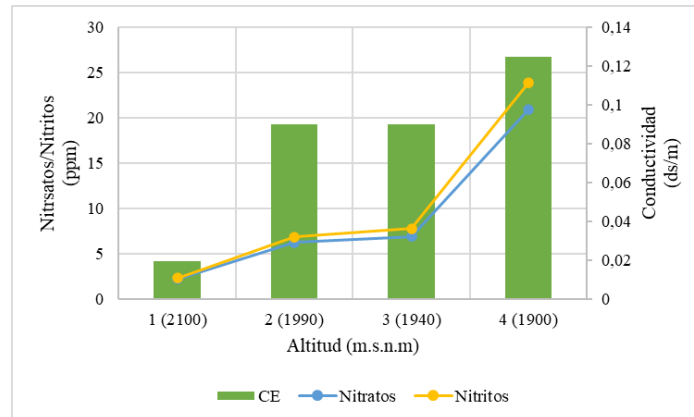
Parámetro medidos en agua del río adyacente a los puntos de muestreo: conductividad eléctrica, nitratos y nitritos

Punto	Altitud	Conductividad		Nitratos		Nitritos	
1	2100	0,002	A	2,19	A	0,13	A
2	1990	0,09	B	6,25	A	0,58	A B
3	1940	0,09	B	6,88	A	0,88	B
4	1900	0,1	C	20,94	B	3	C

Nota. La tabla fue construida a partir de la separación de medias (prueba de Tukey, 5% de significancia) en los diferentes puntos de las variables conductividad, nitratos y nitritos medidos en las aguas adyacentes de los puntos de muestreo. Fuente: La investigación.

Figura 75

Análisis químico de la calidad de agua: conductividad, nitratos y nitritos



Nota. La gráfica describe la conductividad (ds/m), la concentración de nitratos y nitritos (ppm) en el agua del río adyacente a cada uno de los puntos de muestreo en las diferentes altitudes. Fuente: La investigación.

Como se observa en la Figura 75, para los parámetros de calidad de agua medidos (conductividad, nitratos y nitritos), su concentración va en aumento desde el punto de mayor altitud hasta el menor. Pauta et al. (2019), han concluido en su investigación, que la calidad del agua de los ríos disminuye a medida que el caudal aumenta, debido a la concentración diferentes compuestos que fluyen desde aguas arriba.

Según la norma ecuatoriana de calidad ambiental y de descarga de efluentes (TULSMA, 2008), la calidad de agua para riego debe presentar conductividades menores a 0,7 ds/m para que no represente ningún grado de restricción. Los valores de conductividad de todos los puntos se encuentran por debajo del valor estipulado.

Por otra parte, los límites máximos permisibles de descargas de efluentes a cuerpos de agua dulce para nitratos + nitritos es de 10 ppm. Solamente el punto 1 (2160 m.s.n.m) no sobrepasa el límite establecido. Arauzo et al. (2006) asevera que la presencia de nitratos y nitritos en aguas de ríos se debe al resultado de lixiviación de fertilizantes, heces de ganado y de humanos. Baque et al. (2016), afirman en su investigación, que niveles superiores a los establecidos en la norma, pueden causar eutroficación, misma que puede tener efectos adversos en la calidad del agua, como la pérdida de oxígeno disuelto y aumento de turbidez.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Mediante los análisis físicos y químicos realizados en los diferentes puntos y coberturas del suelo de las riveras de los ríos Zamora y Zamora Huayco, se ha determinado que la calidad y salud del suelo es óptima, debido que los resultados obtenidos se encuentran próximos o dentro de los rangos establecidos como ideales según la USDA (1999), además, la densidad poblacional de las lombrices superó los 45 individuos/m² en todas las coberturas, según la USDA (1999), el número ideal de lombrices por metro cuadrado es de 100, sin embargo este depende de la tasa de reproducción de las lombrices según su clase.
- Se identificó una relación positiva moderada en relación a la densidad poblacional de las lombrices de tierra y las coberturas de suelo, es así que, las coberturas con mejores condiciones de respiración, concentración de nitratos, estructura, infiltración, porosidad, pH y CE, tienden a presentar una mayor densidad poblacional de lombrices y viceversa, pudiendo evidenciar la capacidad de las lombrices de tierra como bioindicador.
- Se evidenció que la cobertura de cultivo, la cual presenta condiciones menos ideales en los parámetros analizados, contenía menor número de lombrices (40 lombrices/m²); mientras que, para la cobertura de pastizal, la cobertura con influencia urbana y cobertura silvestre, las cuales presentaban mejores condiciones del suelo, existía mayor densidad poblacional de lombrices, con valores de 111 lombrices/m², 98 lombrices/m² y 76 lombrices/m² respectivamente.
- Las características químicas de pH y conductividad, se encuentran dentro de los rangos ideales para todas las coberturas, lo que demuestra para el caso de coberturas de cultivo, la inexistencia de actividad intensa o mal manejo agrícola.

- Las lombrices de tierra encontradas en los puntos de muestreo pertenecían a 3 clases distintas: epígeas, endógeas y anécicas; dependiendo de la clase tenían un comportamiento diferente, por ende, al realizar comparaciones entre lombrices de la misma clase, se evidenció que las características del suelo muestran una variación dependiendo de su clasificación. Así, las lombrices anécicas y endógeas al llegar a profundidades mayores mediante excavaciones, otorgan características diferentes como mayor índice de infiltración y porosidad, además, mejoran la estructura del suelo al incrementar la proporción de agregados.
- Se identificó que las coberturas con mayor densidad poblacional de lombrices (cobertura con influencia urbana, pastizal y silvestre), presentan índices óptimos de respiración del suelo (35,84-71,68 kg CO₂/Ha/día), lo que refleja un estado ideal de actividad biológica, contenidos óptimos de materia orgánica y poblaciones de microorganismos activas.
- La calidad del suelo está condicionada por el estado y manejo dado a cada cobertura y la actividad para las que están designadas, es por ello que, aunque la cobertura con influencia urbana presenta buenas condiciones físicas, químicas y biológicas, su calidad puede verse afectada debido a la fuente de materia orgánica, en este caso aguas servidas.
- De los resultados obtenidos no se identificó una relación directa entre la calidad y salud del suelo versus las diferentes altitudes a las que se realizó el muestreo. La calidad y salud del suelo estuvo relacionada directamente con el tipo, uso y manejo dado a cada tipo de cobertura.
- No se identificó una relación directa entre la calidad de agua del río adyacente a cada punto de muestreo y la calidad y salud del suelo. El punto con condiciones menos ideales en el agua fue el punto 4, debido que, al ser el punto con menor altitud es en donde se concentran los nitratos, nitritos y sales procedentes de aguas arriba; los demás puntos muestran estar dentro de los límites máximos permisibles de la normativa ecuatoriana.

6.2 Recomendaciones

- Para evaluar la resiliencia del suelo (salud) más detalladamente, se recomienda que, en una próxima investigación, se realice un monitoreo constante con la finalidad de analizar el comportamiento de los parámetros evaluados en diferentes épocas del año.
- Con la finalidad de determinar una relación significativa entre la densidad poblacional de lombrices de tierra y la calidad y salud del suelo, es recomendable que en una próxima investigación se estudien suelos con antecedentes de contaminación y sin contaminación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, V. (2017). *Evaluación química y biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre andesita en el sector San Vicente de la parroquia Chuquiribamba, cantón Loja*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Alcantar, J., Ramos, H., Palácios, F., y García, A. (2011). Cobertura Vegetal. *Guia Técnica* 8, 10-14. Obtenido de Jica: https://www.jica.go.jp/project/elsalvador/0603028/pdf/production/vegetable_08.pdf
- Armijos, D., y Ordoñez, E. (2011). *Determinación de parámetros hidráulicos del sistema de riego por pulsos en surcos y su incidencia en la producción del cultivo de fréjol (phaseolus vulgaris) en la quinta experimental "La Argelia" de la universidad nacional d*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Ayerve, J., y Yaguachi, P. (2010). *Influencia del encalado y aporte de materia orgánica en las propiedades del suelo y en el rendimiento del cultivo de uvilla (Physalis peruviana L.), en la estación experimental La Argelia*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Balasubramanian, A. (2017). *Physical Properties of Soils*. Mysore: University of Mysore,.
- Banegas, N. (2014). *Calidad y Salud del Suelo*. Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán.
- Bautista, A., Etchevers, J., del Castillo, R., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 90-97.
- Bautista, A., Etchevers, J., Del Castillo, R., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 90-97.
- Baxter, N., y Williamson, J. (2001). *Introduction to Soils*. State of Victoria: Department of Natural Resources and Environment.
- Bhattacharyya, T., y Pal, D. (2015). The Soil: A Natural Resource. En R. Rattan, J. Katyal, B. Dwivedi, A. Sarkar, T. Bhattacharyya, J. Tarafdar, y S. Kukal, *Soil Science: An Introduction* (págs. 39-56). New Delhi: ISSS.
- Bourrut, H. (2015). *Lombrices en la tierra*. Madrid: FAO.
- Bravo, V. (2015). *Introducción a los impactos ambientales sobre los recursos naturales*. Buenos Aires: Fundación Brailoche.
- Brea, C. (2015). *La fertilidad del suelo y el laboreo*. Lugo: Seminario o manexo o solo e da fertilidade en Agricultura Ecolóxica.
- Burbano, H. (Julio de 2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos. *Revista de Ciencias agrícolas*, 82-96. Obtenido de Revista de ciencias agrícolas: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>
- Cabrera, G. (2012). La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 349-364.

- Calvache, A. (2016). Fertilización en el Ecuador. *X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*.
- Castillo, C. (2005). *Selección y calibración de indicadores locales y técnicos para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la micocuena Cuscamá el Tuma-La Dalia Matagalpa, 2005*. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp35c352.pdf>
- Catalán, G. (8 de Noviembre de 2016). *El pH del suelo en la agricultura*. Obtenido de Nutrición y Salud Vegetal, Agropal S.L.: <http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/>
- Costas, G. (22 de Marzo de 2014). *La raíz*. Obtenido de ciencia biologia.com: <https://cienciaybiologia.com/la-raiz/>
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., y Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 5-71.
- Courel, G. (2019). *Suelos salinos y sódicos*. Tucumán: Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán.
- Domínguez, J., y Gómez, M. (2010). Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *Acta zoológica mexicana*.
- Domínguez, J., Aira, M., y Gómez, M. (2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas*, 20-31.
- Encina, A., y Ibarra, J. (2005). La degradación del suelo. *Población y desarrollo*, 4-9.
- FAO. (1996). *Ecología y enseñanza rural*. Rome: FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm>
- FAO. (2006). *Guidelines for soil description*. Rome: FAO.
- FAO. (2016). *Estado mundial del recurso suelo*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura: <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- FAO. (6 de Junio de 2018). *Condiciones climáticas y la actividad humana impactan en la degradación de la tierra, comprometiendo la seguridad alimentaria*. Obtenido de <http://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/es/c/1141396/#:~:text=Entre%20las%20principales%20causas%20de,a%20la%20productividad%20del%20suelo>.
- Fernández, L. (2004). Aplicación del índice de estabilidad estructural de Pieri (1995) a suelos montañosos de Venezuela. *Terra*.
- Fernández, P. (2016). *Importancia de los pastizales naturales*. Obtenido de Alianza del pastizal: <http://www.alianzadelpastizal.org/noticia/importancia-de-los-pastizales-naturales/>
- Fernández, P. (2017). *Geomorfología: Los Suelos*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Fischer, C., Roscher, C., Jensen, B., Eisenhauer, N., Baade, J., Attinger, S., . . . Hildebrandt, A. (2014). How Do Earthworms, Soil Texture and Plant Composition Affect Infiltration along an Experimental Plant Diversity Gradient in Grassland? *Plos One*.
- Fontaine, G., Narváez, I., y Cisneros, P. (2008). *Geo Ecuador 2008: Informe sobre el estado del medio ambiente*. Quito: Flacso.

- García, F., y Daverede, I. (2008). Diagnóstico para recomendación de fertilización nitrogenada en cultivos de interés agronómico. *XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*.
- Gómez, J. (2013). *Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos*. Obtenido de Servicio Nacional de Aprendizaje: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/2785/1/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf
- Gómez, N., Villagra, K., y Solorzano, M. (2018). La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo. *Tecnología en Marcha*, 170-180.
- González, C. (2015). *Guía educativa sobre la salud del suelo*. AIS.
- Guerrero, P., Quintero, R., Espinoza, V., Benedicto, G., y Sánchez, M. (2012). Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de Lupinus. *Terra Latinoamérica*, 355-362.
- Guhl, A. (Febrero de 2009). *Evaluación de la cobertura boscosa*. Obtenido de CIDER: https://www.rainforest-alliance.org/lang/sites/default/files/publication/pdf/Estudio-Cobertura-Boscosa-Colombia-Infoma-Final20_0.pdf
- Hendrix, P., Han, C., y Groffman, P. (1988). Soil respiration in conventional and no-tillage agroecosystems under different winter cover crop rotations. *Soil and Tillage Research*, 135-148.
- Heras, R. (2014). *Balance Hídrico*. Obtenido de Infiltración: <http://ing.unne.edu.ar/pub/infi.pdf>
- Ibáñez, J. (2007). *¿Cuánto Pesa un Metro Cuadrado de la Capa Arable del Suelo?: ¿Qué es la Densidad Aparente?* Madrid: Fundación conocimiento Madrid.
- Ibáñez, S., Gisbert, J., y Moreno, H. (2010). *Inceptisoles*. Valencia: Universidad politécnica de valencia.
- Izquierdo, R., y Venegas, S. (2011). *La materia orgánica del suelo*. Obtenido de <https://www.ugr.es/~cjl/MO%20en%20suelos.pdf>
- Jicong, H., Yanyun, Q., Guangqing, L., y Dong, R. (2005). The Influence of Temperature, pH and C/N Ratio on the Growth and Survival of Earthworms in Municipal Solid Waste. *CIGR Ejournal*.
- Konijnenburg, A. (2006). *Agricultura orgánica. El suelo: sus componentes físicos*. Río Negro: Inta.
- Kumar, R., Mohammad, N., y Roychoudhury, N. (2016). Soil pollution: Causes, effects and control. *Van Sangyan*, 1-14.
- Laguna, D. (2012). *Propuesta de clasificación de cobertura vegetal y uso del suelo provenientes de deforestación y de degradación de los bosques*. Obtenido de Programa conjunto de las Naciones Unidas para la reducción de emisiones: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Propuesta%20sistema%20clasificacion%20-%20informe%20final%20FAO-ONU-REDD%20Panama.pdf>
- Lamz, A., y González, M. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 31-42.

- Lavelle, P., Brussaard, L., y Hendrix, P. (1999). Earthworm management in tropical agroecosystems. *CABI Publishing*, 149-172.
- Leveque, T., Capowiez, Y., E. S., Xiong, T., Foucault, Y., y Dumat, C. (2014). Earthworm bioturbation influences the phytoavailability of metals released by particles in cultivated soils. *Environmental Pollution*, 199-206.
- López, C., y Herrera, Y. P. (2017). *Aprovechamiento de lodos residuales para la elaboración de Biocompost*. León: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- López, R. (2002). *Degradación del suelo*. Obtenido de Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial: <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>
- Maestre, F., Quero, J., Gotelli, N., Escudero, A., Ochoa, V., Delgado, M., . . . Gallardo, A. (2012). Plant Species Richness and Ecosystem Multifunctionality in Global Drylands. *Science*, 214-218.
- Mamani, G., Mamani, F., Sainz, H., y René, V. (2012). Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 44-54.
- Medina, C. (2016). Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. Remediaciones. *Revista colombiana de ciencia animal*, 88-93.
- Montanarella, L., Badraoui, M., Chude, V., Santos, I. D., Costa, B., Mamo, T., . . . Krasilnikov, P. (2015). *Status of the World's Soil Resources. Main report*. Rome: FAO.
- Municipio de Loja. (2014). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. Loja: Municipio del Loja.
- Naula, P. (2006). *Respuesta del tomate riñón (Lycopersicum esculentum) bajo invernadero al mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo mediante la aplicación de abonos orgánicos y carbón vegetal, barrio masaca - cantón loja*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Nortcliff, S., Hulpke, H., Bannick, C., Terytze, K., Knoop, G., Bredemeier, M., y Schulte, H. (2012). Soil, Definition, Function, and Utilization of Soil. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 399-419.
- Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Santiago, Morales, Ó., y Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca,. *Maskana*, 76-88.
- Pfiffner, L. (2014). Earthworms-Architects of fertile soil. *Technical Guide on Earthworms*, 2-9.
- Phogat, V., Tomar, V., y Dahiya, R. (2015). Soil Physical Properties. En R. Rattan, J. Katyal, B. Dwivedi, A. Sarkar, T. Bhattacharyya, J. Tarafdar, y S. Kukal, *Soil Science: An Introduction* (págs. 135-171). New Delhi: ISSS.
- Piscitelli, M. (15 de Julio de 2015). *Degradación de suelos*. Obtenido de <https://www.unicen.edu.ar/content/degradaci%C3%B3n-de-suelos>
- Porta, J., López, M., y Poch, R. (2013). *Edafología. Uso y protección de suelos*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

- Porto, W. E. (23 de Febrero de 2018). *Cuáles son los tipos de raíces que existen*. Obtenido de PortalFruticola.com: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/02/23/cuales-los-tipos-raices-existen/>
- Prieto, I. (2016). *Análisis estadístico de las variables geoquímicas y de fertilidad del suelo en áreas secas y húmedas para evaluar la retención de carbono en los humedales y su importancia ambiental*. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3320/1/PrietoHernandezIngridJohanna2016.pdf>
- Pulido, M. (8 de Enero de 2008). *Estructura del suelo*. Obtenido de slideshare: https://es.slideshare.net/edafoIPA/estructura-del-suelo-fagro-uy?qid=90ddeb9b-3107-4f82-9a1f-0d3da7c15f46yv=yb=yfrom_search=4
- Rendón, S., Artunduaga, F., Ramírez, R., Quiroz, J., y Leiva, E. (2011). Los Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Suelo en Cultivos de Mora, Pasto y Aguacate. *Facultad Nacional de Agricultura de MEdeppin* , 5791-5802.
- Richard, K., y Nathan, C. (2011). Controlled Cultivation of Endogeic and Anecic Earthworms. *Soil Biology*, 107-121.
- RILSAV. (2016). *Laboratorio de suelo y agua*. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_muestreo_e_interpretacion_de_analisis_de_suelo_1.pdf
- Rivera , J. M., y Gómez, M. E. (2002). *Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos*. CIPAV.
- Rubio, A. (Julio de 2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales*. Obtenido de Consejo superior de investigaciones científicas: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>
- Rueda, D. (Junio de 2015). *Botánica Sistémica*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10180/1/Bot%C3%A1nica%20sist%C3%A9mica.pdf>
- Samaranayake, J., y Wijekoon, S. (2010). Effect of selected earthworms on soil fertility, plant growth and vermicomposting . *Tropical Agricultural Research y Extension*, 33-40.
- Schargel, R., Marvez, P., Aymard, G., Stergios, B., Berry, P., y Marvez, P. (2001). Características de los suelo alrededor de San Carlos de Río Negro, Estado Amazonas, Venezuela. *Biolania*, 234-264.
- Schindler, M., Bohlen, P, McCartney, D., Subler, S., y Edwards, C. (1997). Earthworm effects on soil respiration in corn agroecosystems receiving different nutrient inputs. *Soil Biology and Biochemistry*, 409-412.
- Torres, C., Etchevers, J., Fuentes, M., Govaerts, B., De León, F., y Herrera, J. (2013). Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo. *Terra Latinoamericana*, 71-84.
- TULSMA. (2008). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Libro VI. Anexo 1*. República del Ecuador.

- USDA. (Agosto de 1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Obtenido de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- Vasco. (25 de Agosto de 2017). *Degradación del suelo*. Obtenido de euskadi.eus: <https://www.euskadi.eus/informacion/degradacion-del-suelo/web01-a2inglur/es/>
- Vásquez, J. M., y Menjivar, J. (2013). Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el Departamento del Magdalena, Colombia. *Bioagro*, 175-180.
- Walter, J. (2014). *Respuesta del cultivo de fresa (Fragaria vesca) a diferentes granulometrías de carbón vegetal y rangos de tensión de humedad del suelo bajo invernadero, en la estación experimental La Argelia*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Whalley, W., Riseley, B., Leeds, P., Bird, N., Leech, P., y Adderley, W. (2004). Structural differences between bulk and rhizosphere soil. *European Journal of Soil Science*.
- Zambrano, S. E. (2014). *El agua en el suelo y la planta*. Obtenido de AgroES.es: <https://www.agroes.es/agricultura/agua-riegos-regadios/314-agua-suelo-planta-perdidas-agua-agricultura>
- Zari, A., y Bayron, D. (2014). *Determinación de las fases fenológicas, fenométricas e índices de balance hídrico en el cultivo de maíz duro (Zea mays L.), bajo condiciones de secano, en el cantón Pindal provincia de Loja*. Loja: UTPL.

8. ANEXOS

Anexo 1 Codificación Pfafstetter de la unidad hidrográfica 49989

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
Cuenca Río Amazonas	Unidad hidrográfica	Unidad hidrográfica	Cuenca río Zamora	Unidad hidrográfica
4	49	499	4998	49989

Anexo 2 Tabla de descripción y ubicación geográfica de puntos de muestreo

Punto de muestreo	Cobertura	Código	Lugar de referencia	Coordenadas UTM				Altura (msnm)
				X	Y	Huso	Hemisferio	
P1	Pastizal	P1P	Barrio el Carmen, hacienda las Acacias	9554522	701866	17	S	2163
P1	Influencia urbana	P1U	Barrio el Carmen, hacienda las Acacias	9554543	701863	17	S	2160
P1	Cultivo	P1C	Barrio el Carmen, hacienda las Acacias	9554605	701807	17	S	2158
P1	Silvestre	P1S	Barrio el Carmen, hacienda las Acacias	9554495	701884	17	S	2158
P2	Pastizal	P2P	Sector Nueva Granada, parque Jipiro	9554628	701833	17	S	2044
P2	Influencia urbana	P2U	Sector Nueva Granada, parque Jipiro	9560443	699524	17	S	2042
P3	Pastizal	P3P	Sector Nueva Granada, parque Jipiro	9560495	699492	17	S	1992
P3	Influencia urbana	P3U	San Francisco de Salapa	9565772	697090	17	S	1985
P3	Cultivo	P3C	San Francisco de Salapa	9565801	697074	17	S	1982
P3	Silvestre	P3S	San Francisco de Salapa	9565769	697111	17	S	1992
P4	Pastizal	P4P	Solamar	9565771	697106	17	S	1902
P4	Influencia urbana	P4U	Solamar	9571632	697592	17	S	1904
P4	Cultivo	P4C	Solamar	9571711	697633	17	S	1902
P4	Silvestre	P4S	Solamar	9571760	697622	17	S	1905
P2	Silvestre	P2S	Solamar	9571907	697629	17	S	2042



LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

Cliente: CRISTINA GABRIELA AGUILAR MORA

Dirección: Avenida Napo E4-86 y Pedro Pinto

Telf./Cel: (+593) 2 314 0136

Contacto: MSc. Freddy Cuarán

E-mail: crissagUILAR1996@gmail.com

Número de Muestras: 8

Nº de Informe: 20 239

Fecha de ingreso: julio 23, 2020

Fecha Emisión: agosto 5, 2020

Tipo de Muestra: suelo

Fecha de Análisis: julio 28 al 31, 2020

INFORME DE RESULTADOS

Código de Laboratorio	Identificación del Cliente	Potencial Hidrógeno u pH	Conductividad Eléctrica mS/cm	Materia Orgánica %	Nitratos mg/L (NO ₃)
LSA20 351	PO4 SR1	6,65	0,08	0,91	38,50
LSA20 352	PO4 SR2	6,60	0,09	0,70	51,83
LSA20 353	PO4 PR1	7,70	0,25	0,60	25,16
LSA20 354	PO4 PR2	7,64	0,25	1,19	27,73
LSA20 355	PO4 CR1	6,79	0,34	1,85	69,27
LSA20 356	PO4 CR2	7,09	0,22	1,81	63,11
LSA20 357	PO4 UR1	6,56	0,42	1,95	80,55
LSA20 358	PO4 UR2	6,46	0,35	2,92	59,01

DATOS ADICIONALES:

% : porcentaje; mg/L: miligramos por litro de muestra; U pH: unidades; mS/cm: milisiemens por centímetro;

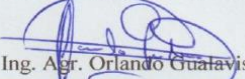
Agua destilada: pH, conductividad eléctrica, relación (1:1,25)

Wakley-Back: materia orgánica;

NO₃-N; NH₄-N (Test Merck)

Nota Aclaratoria:

Los resultados corresponden únicamente a las muestras entregadas por el cliente.


Ing. Agr. Orlando Guatavisi
Técnico de Suelos y Agua



LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

Cayambe, Av. Natalia Jarrín N3-85 y 9 de Octubre. Teléfonos: 593 (2) 3962946 / 3962800 ext. 2504-2534.
Correo electrónico: ogualavisi@ups.edu.ec / bioagrolab@ups.edu.ec



LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

Cliente: CRISTINA GABRIELA AGUILAR MORA

Dirección: Avenida Napo E4-86 y Pedro Pinto

Contacto: MSc. Freddy Cuarán

Número de Muestras: 8

Fecha de ingreso: julio 23, 2020

Tipo de Muestra: suelo

Telf./Cel: (+593) 2 314 0136

E-mail: crissagUILAR1996@gmail.com

Nº de Informe: 20 240

Fecha Emisión: agosto 5, 2020

Fecha de Análisis: julio 28 al 31, 2020

INFORME DE RESULTADOS

Código de Laboratorio	Identificación del Cliente	Textura de Suelo			Método de Valoración
		Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
LSA20 251	PO4 SR1	80	18	2	PROCEDIMIENTOS FÍSICOS: Pipeta Robinson
LSA20 352	PO4 SR2	84	15	1	
LSA20 353	PO4 PR1	84	15	1	
LSA20 354	PO4 PR2	80	16	4	
LSA20 355	PO4 CR1	56	34	10	
LSA20 356	PO4 CR2	52	38	10	
LSA20 357	PO4 UR1	60	30	10	
LSA20 358	PO4 UR2	50	34	16	

DATOS ADICIONALES:

% : porcentaje;

Nota Aclaratoria:

Los resultados corresponden únicamente a las muestras entregadas por el cliente.

Ing. Agr. Orlando Gualavisi
Técnico de Suelos y Agua



LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

Cayambe, Av. Natalia Jarrín N3-85 y 9 de Octubre. Teléfonos: 593 (2) 3962946 / 3962800 ext. 2504-2534.
Correo electrónico: ogualavisi@ups.edu.ec / bioagrolab@ups.edu.ec

Anexo 5 Cuadro de análisis de la varianza de la variable densidad poblacional de lombrices de tierra (transformación Ln)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	32,13	17	1,89	3,98	0,0001
Repeticiones	0,96	3	0,32	0,67	0,5750
Altitud	19,65	6	6,55	13,78	<0,0001
Cobertura	9,47	3	3,16	6,64	0,0009
Altitud*Cobertura	2,06	8	0,26	0,54	0,8188
Error	19,96	42	0,48		
Total	52,09	59			

Anexo 6 Cuadro de análisis de la varianza de la variable respiración (transformación Ln) del suelo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	116,10	17	6,83	2,03	0,0318
Repeticiones	39,89	3	13,30	3,95	0,0144
Altitud	34,43	3	11,48	3,41	0,0260
Cobertura	2,85	3	0,95	0,28	0,8380
Altitud*Cobertura	38,93	8	4,87	1,45	0,2065
Error	141,39	42	3,37		
Total	257,49	59			

Anexo 7 Cuadro de análisis de la varianza de la variable infiltración (transformación Ln) del suelo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	83,10	17	4,89	13,38	<0,0001
Repeticiones	1,70	3	0,57	1,55	0,2153
Altitud	31,78	3	10,59	29,00	<0,0001
Cobertura	6,35	3	2,12	5,79	0,0021
Altitud*Cobertura	43,27	8	5,41	14,81	<0,0001
Error	15,34	42	0,37		
Total	98,44	59			

Anexo 8 Cuadro de análisis de la varianza de la variable nitratos en el suelo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	649489,88	17	38205,29	3,09	0,0015
Repeticiones	42608,64	3	14202,88	1,15	0,3412
Altitud	145543,08	3	48514,36	3,92	0,0149
Cobertura	144407,79	3	48135,93	3,89	0,0154
Altitud*Cobertura	316930,38	8	39616,3	3,2	0,0063
Error	520018,95	42	12381,4		
Total	1169508,84	59			

Anexo 9 Cuadro de análisis de la varianza de la variable pH del suelo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	34,32	17	2,02	12,37	<0,0001
Repeticiones	0,66	3	0,22	1,35	0,2711
Altitud	29,72	3	9,91	60,71	<0,0001
Cobertura	0,8	3	0,27	1,64	0,1944
Altitud*Cobertura	3,13	8	0,39	2,4	0,0313
Error	6,85	42	0,16		
Total	41,17	59			

Anexo 10 Cuadro de análisis de la varianza de la variable conductividad (transformación Ln) del suelo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	29,44	16	1,84	6,10	<0,0001
Repeticiones	5,34	3	1,78	5,91	0,0020
Altitud	7,39	3	2,46	8,17	0,0002
Cobertura	1,10	3	0,37	1,22	0,3148
Altitud*Cobertura	15,60	7	2,23	7,39	<0,0001
Error	11,76	39	0,30		
Total	41,19	55			

Anexo 11 Cuadro de análisis de la varianza de la variable densidad aparente del suelo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,07	17	3,90E-03	2,57	0,0066
Repeticiones	4,00E-03	3	1,30E-03	0,87	0,4646
Altitud	0,01	3	2,90E-03	1,89	0,1456
Cobertura	0,01	3	2,90E-03	1,91	0,1419
Altitud*Cobertura	0,05	8	0,01	3,71	0,0023
Error	0,06	42	1,50E-03		
Total	0,13	59			

Anexo 12 Cuadro de análisis de la varianza de la variable conductividad del agua


F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,09	17	0,01	302,23	<0,0001
Repeticiones	5,0E-06	3	1,7E-06	0,09	0,9647
Altitud	0,07	3	0,02	1197,89	<0,0001
Cobertura	0,01	3	2,4E-03	129,94	<0,0001
Altitud*Cobertura	0,02	8	2,6E-03	144,27	<0,0001
Error	7,7E-04	42	1,8E-05		
Total	0,09	59			


Anexo 13 Cuadro de análisis de la varianza de la variable nitratos del agua


F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4914,58	17	289,09	5,11	<0,0001
Repeticiones	54,58	3	18,19	0,32	0,8097
Altitud	3181,88	3	1060,63	18,74	<0,0001
Cobertura	314,24	3	104,75	1,85	0,1526
Altitud*Cobertura	1363,89	8	170,49	3,01	0,0091
Error	2376,67	42	56,59		
Total	7291,25	59			

Anexo 14 Cuadro de análisis de la varianza de la variable nitritos del agua

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	151,72	17	8,92	24,55	<0,0001
Repeticiones	0,98	3	0,33	0,90	0,4484
Altitud	76,57	3	25,52	70,21	<0,0001
Cobertura	29,79	3	9,93	27,32	<0,0001
Altitud*Cobertura	44,38	8	5,55	15,26	<0,0001
Error	15,27	42	0,36		
Total	166,98	59			


				FICHA N°1 Descripción del punto de muestreo de evaluación de la calidad del suelo			
CARRERA				Ingeniería Ambiental			
SEDE				Quito			
Tema de investigación: Evaluación de la calidad y salud del suelo de los ríos Zamora y Zamora Huayco, subcuenca del río Zamora, cantón Loja – Ecuador							
Cristina Aguilar, caguilarm2@est.ups.edu.ec Erika Quille, equille@est.ups.edu.ec							
Responsable				FECHA:		D	M
*Código:							
Ubicación en el mapa							
Provincia:		Loja		Longitud:			
Cantón:				Latitud:			
Nombre lugar:				Altura:			
Nombre río:							
Referencia:							
Especificaciones							
Punto		Cobertura		Altura referencia			
P1		Pasto		2100			
P2		Población		2030			
P3		Siembra		1990			
P4		Silvestre		1900			
Registro Repeticiones							
		Longitud	Latitud	Altura	Observaciones		
Primera							
Segunda							
Tercera							
Cuarta							
Observaciones:							
*Código: Nro punto-cobertura							
Nro punto: P1, P2, P3, P4							
Cobertura: P(Pasto), U(Urbanización), A(Agricultura), S(Silvestre)							


 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR					FICHA N°2 Respiración del Suelo				
CARRERA					Ingeniería Ambiental				
SEDE					Quito				
Tema de investigación: Evaluación de la calidad y salud del suelo de los ríos Zamora y Zamora Huayco, subcuenca del río Zamora, cantón Loja – Ecuador									
Cristina Aguilar, caguilarm2@est.ups.edu.ec Erika Quille, equille@est.ups.edu.ec									
Responsable					FECHA:		D	M	A
Código									
N° Repe- tición	(H) Altura del anillo (cm)	Hora de inicio	Hora del final	(A) Temp. suelo (°C)	(B) Tubo Draeger % CO ₂ (n=1)	* Respiración del suelo kg CO ₂ - C/Ha/día	(B) Tubo Draeger % CO ₂ (n=5)	* Respiración del suelo kg CO ₂ - C/m ² /día	
1									
2									
3									
4									
Observaciones:									
Respiración del Suelo [kg C(enCO₂)/Ha/d]=PF x Tf x (%CO₂ – 0,035) x 22,91 x H x 1,2									
PF =factor de presión=1									
TF = factor de temperatura= ((temperatura del suelo en °C)+273)/273									
H =altura en parte interna del anillo (cm)=5,08 cm(2 pulgadas)									

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR				FICHA N°3 Infiltración				
CARRERA				Ingeniería Ambiental				
SEDE				Quito				
Tema de investigación: Evaluación de la calidad y salud del suelo de los ríos Zamora y Zamora Huayco, subcuenca del río Zamora, cantón Loja – Ecuador								
Cristina Aguilar, caguilarm2@est.ups.edu.ec Erika Quille, equille@est.ups.edu.ec								
Responsable				FECHA:		D	M	
Código								
N° Repe- tición	A 2,54 cm de profundidad (Primera pulgada)		(w) Primer tiempo de infiltración (minutos)	* Primera Infiltración (cm/hr)	A 5,08 cm de profundidad (Segunda pulgada)		(w) Segundo tiempo de infiltración (minutos)	* Segunda Infiltración (cm/hr)
	Hora de comienzo	Hora de finaliza			Hora de comienzo	Hora de finalización		
1								
2								
3								
4								
Observaciones: 								
Conversión de tiempo de infiltración a centímetros por hora (cm/hr); $\text{cm/hr} = (2,54/w) \times 60$								

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR				FICHA N°4 Densidad aparente y estado del agua del suelo						
CARRERA				Ingeniería Ambiental						
SEDE				Quito						
Tema de investigación: Evaluación de la calidad y salud del suelo de los ríos Zamora y Zamora Huayco, subcuenca del río Zamora, cantón Loja – Ecuador										
Cristina Aguilar, caguilarm2@est.ups.edu.ec Erika Quille, equille@est.ups.edu.ec										
Responsable						FECHA:		D	M	A
Código										
N° Repe- tición	(h) Altura del anillo sobre el suelo (cm)	(E) Peso del suelo, con la humedad al muestreo + bolsa (g)	(F) Peso de la bolsa (g)	Submuestra para determinar contenido de agua				**(M) Contenido de Agua del suelo (g/g)	*** Densidad aparente del suelo (g/cm3)	
				(G) peso del crisol (g)	(I) Peso del crisol + Suelo (g)	(K) Peso del suelo seco + crisol	* (L) Peso del suelo seco (g)			
1										
2										
3										
4										
Observaciones: 										
*Peso seco de la submuestra del suelo = (K – G)										
** Contenido de H2O del suelo = (I - K) /L										
*** Densidad aparente del Suelo = [(E – F) / (1+ M)] /[(12,7 –h) x 42,52] h:8,08 cm (2 pulgadas) si no está medido; volumen del suelo= 324 cm3										

Anexo 19 Ficha del ensayo de desleimiento

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		FICHA N°5 Ensayo de Desleimiento			
CARRERA		Ingeniería Ambiental			
SEDE		Quito			
Tema de investigación: Evaluación de la calidad y salud del suelo de los ríos Zamora y Zamora Huayco, subcuenca del río Zamora, cantón Loja – Ecuador					
Cristina Aguilar, caguilarm2@est.ups.edu.ec Erika Quille, equille@est.ups.edu.ec					
Responsable		D	M	A	
Código					
N° Repetición	Evaluaciones Individuales de Desleimiento del Suelo			* Evaluación Promedio de Desleimiento del Suelo	
1					
2					
3					
4					
Observaciones: 					
* Evaluación de Desleimiento de Suelos = (añadir todos los promedios individuales y % por el número total)					

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR				FICHA N°6 Observaciones de suelo y estimaciones			
CARRERA				Ingeniería Ambiental			
SEDE				Quito			
Tema de investigación: Evaluación de la calidad y salud del suelo de los ríos Zamora y Zamora Huayco, subcuenca del río Zamora, cantón Loja – Ecuador							
Cristina Aguilar, caguilarm2@est.ups.edu.ec Erika Quille, equille@est.ups.edu.ec							
Responsable				D	M	A	
Código							
N° Repetición	Profundidad del horizonte superior	Raíces	Capa compactada	Textura de suelo			
1							
2							
3							
4							
Estructura							
Profundidad (cm)	Tipo	Tamaño	Grado	(A) Clase	(B)	(A)x(B)	*Índice de estructura
0-10.16					3		
10.16-20.32					2		
20.32-30.48					1		
* Índice de estructura: $((\text{Total}-6)/24) \times 100$					Total		
Repetición Nro. 2							


Anexo 21 Tabla de las clases para índices de Estructura

Estructura			Clase
Tipo	Tamaño	Grado	
Granular	Fino, Medio, Grueso	Débil	2
Granular	Fino, Medio, Grueso	Moderado	4
Granular	Fino, Medio, Grueso	Fuerte	5
En bloques	Muy fino, Fino, Medio	Débil	1
En bloques	Muy fino, Fino	Moderado	4
En bloques	Muy fino, Fino, Medio	Fuerte	5
En bloques	Medio	Moderado	3
Laminar	Delgado, Medio, Grueso	Muy friable b	3
Laminar	Delgado, Medio, Grueso	Friable b	2
Laminar	Delgado, Medio, Grueso	Firme o Muy firme	1
Masivo			1
Grano suelto			1
Nota: a) La Clase 5 es la mejor. b) Sustituya la resistencia horizontal a ruptura en húmedo.			


Anexo 22 Ficha del ensayo de conductividad eléctrica y pH del suelo

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		FICHA N°7 Conductividad Eléctrica de los suelos y pH		
CARRERA		Ingeniería Ambiental		
SEDE		Quito		
Tema de investigación: Evaluación de la calidad y salud del suelo de los ríos Zamora y Zamora Huayco, subcuenca del río Zamora, cantón Loja – Ecuador				
Cristina Aguilar, caguilarm2@est.ups.edu.ec Erika Quille, equille@est.ups.edu.ec				
Responsable		FECHA:	D	M
				A
Código				
N° Repe- tición	Lecturas para una mezcla de Sitio de muestreo suelo:agua 1:1			
	CE (ds/m)	pH		
1				
2				
3				
4				
Observaciones: 				


Anexo 23 Ficha del ensayo de nitratos del suelo

						FICHA N°8 Nitratos (NO₃-)							
CARRERA						Ingeniería Ambiental							
SEDE						Quito							
Tema de investigación: Evaluación de la calidad y salud del suelo de los ríos Zamora y Zamora Huayco, subcuenca del río Zamora, cantón Loja – Ecuador													
Cristina Aguilar, caguilarm2@est.ups.edu.ec Erika Quille, equille@est.ups.edu.ec													
Responsable						FECHA:	<table border="1"> <tr> <td>D</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	D	M	A			
D	M	A											
Código													
N°	(X) Peso del suelo húmedo (g)	(Y) N (enNO ₃ --N) del suelo ppm(g/m ³)	* (Pf) Profundidad del suelo muestreado	** (M) Contenido del agua del suelo (g/g)	*** (V) Volumen de agua empleada (mL)	(D) Densidad aparente (g/cm ³)	**** N(enNO ₃ -), Exacto (kg NO ₃ -N /m ²)						
1													
2													
3													
4													
Observaciones: 													
*Pf= de 0 a 3 pulgadas													
**M= valor obtenido en el ensayo de densidad aparente													
****Volumen de agua empleada = $30 \text{ mL} + \frac{\left[\left(\frac{X}{(1+M)^S}\right)M\right]}{\left[\frac{X}{(1+M)}\right]}$													
****Cálculo exacto (g N en NO₃/m²)=Y * V * Pf * D													

Anexo 24 Ficha de ensayo de densidad poblacional de lombrices de tierra

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		FICHA N°9 Densidad poblacional de lombrices de tierra		
CARRERA		Ingeniería Ambiental		
SEDE		Quito		
Tema de investigación: Evaluación de la calidad y salud del suelo de los ríos Zamora y Zamora Huayco, subcuenca del río Zamora, cantón Loja – Ecuador				
Cristina Aguilar, caguilarm2@est.ups.edu.ec Erika Quille, equille@est.ups.edu.ec				
Responsable		D	M	A
Código				
N° Repetición	Total de lombrices			
1				
2				
3				
4				
Observaciones: 				

Anexo 25 Ficha para el ensayo de medición de calidad de agua

		FICHA N°10 Mediciones de Calidad del Agua		
CARRERA		Ingeniería Ambiental		
SEDE		Quito		
Tema de investigación: Evaluación de la calidad y salud del suelo de los ríos Zamora y Zamora Huayco, subcuenca del río Zamora, cantón Loja – Ecuador				
Cristina Aguilar, caguilarm2@est.ups.edu.ec Erika Quille, equille@est.ups.edu.ec				
Responsable		D	M	A
Código				
N° Repetición	Salinidad (ds/m)	Nitritos en el agua (ppm)	Nitratos en el agua (ppm)	
1				
2				
3				
4				
Observaciones: 				

Anexo 26

Fotografía de la delimitación de la unidad de análisis y sus repeticiones



Anexo 27

Fotografía del ensayo de respiración del suelo



Anexo 28

Fotografía de los tubos draeger



Anexo 29

Fotografía del ensayo de densidad aparente



Anexo 30

Fotografía del ensayo de infiltración



Anexo 31

Fotografía del ensayo de desleimiento



Anexo 32

Fotografía del ensayo de textura del suelo



Anexo 33

Fotografía del ensayo de profundidad del horizonte



Anexo 34

Fotografía de las unidades experimentales cavadas

**Anexo 35**

Fotografía de las lombrices encontradas

**Anexo 36**

Fotografía del ensayo de medición de conductividad eléctrica

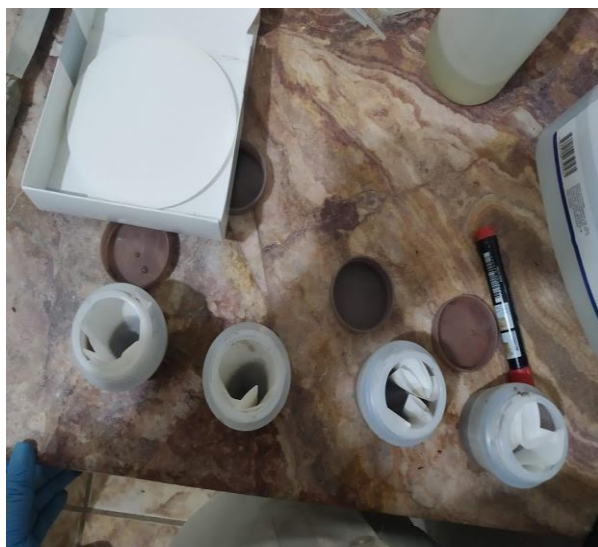
**Anexo 37**

Fotografía del ensayo de medición de pH



Anexo 38

Fotografía del ensayo de nitratos



Anexo 39

Fotografía de los materiales usados en el laboratorio

